This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Library
of the
University of Wisconsin
PRESENTED BY
MRS. W. E. CRAIGHILL

N. P. C.
Febr/90
Balt

COMPTE-RENDU DÉTAILLÉ

DES

TRAVAUX DU CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

L'UTILISATION DES EAUX FLUVIALES

19071. — PARIS. IMPRIMERIE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

L'UTILISATION DES EAUX FLUVIALES

COMPTE-RENDU DÉTAILLÉ

DES

TRAVAUX DU CONGRÈS

PARIS
IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE
9, RUE DE FLEURUS, 9

1889

242377
FEB 15 1921

SVM
.C76

6574381

Par arrêté en date du 24 décembre 1888, le Ministre du commerce et de l'industrie, commissaire général de l'Exposition universelle de 1889, a nommé membres du Comité d'organisation du Congrès international de la « Navigation fluviale » :

MM. Arnoux, ingénieur en chef des Ponts et chaussées;
Beaurin-Gressier, chef de division au Ministère des travaux publics;
Bechmann, ingénieur en chef des Ponts et chaussées;
Boulé, idem;
Cameré, idem;
Carlier, inspecteur général des Ponts et chaussées;
Cotard, ingénieur civil, membre du Conseil supérieur de l'agriculture;
Derome, ingénieur en chef des Ponts et chaussées;
Flamant, idem;
Fournié, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, membre du Conseil supérieur de l'agriculture;
Gauckler, inspecteur général des Ponts et chaussées;
Guillemain, idem;
Holtz, ingénieur en chef des Ponts et chaussées;
Humblot, idem;
Jacquet, inspecteur général des Ponts et chaussées;
de Lagrené, idem;
Lévy (Maurice), ingénieur en chef des Ponts et chaussées, membre de l'Institut;
Philippe, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, directeur de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'agriculture;
Regnard (Paul), ingénieur civil.

---

*

Ce comité, sur une convocation émanant du Ministère du commerce et de l'industrie, s'est réuni pour la première fois le 19 janvier 1889 et il a constitué son bureau de la manière suivante :

Président :	M.	Guillemain.
Vice-Présidents :	MM.	Cotard,
—		Jacquet.
Secrétaires :	MM.	Beaurin-Gressier,
—		Flamant.

Il a ensuite émis l'avis que la dénomination du congrès qu'il était chargé d'organiser devait être modifiée, et il a demandé que le nom de « Congrès de la navigation fluviale » fût remplacé par celui de « Congrès de l'utilisation des eaux ».

Par arrêté en date du 27 février 1889 du Président du Conseil, Ministre du commerce et de l'industrie, commissaire général de l'Exposition universelle de 1889 :

1° Le Congrès international de navigation fluviale prend, à partir de ce jour, le titre de Congrès international pour l'utilisation des eaux fluviales;

2° Sont nommés membres du Comité d'organisation du Congrès international pour l'utilisation des eaux fluviales :

MM. Pronnier, ingénieur civil,
Captier (Gustave), secrétaire de la Chambre syndicale de la marine, ancien membre du Comité du Congrès des travaux maritimes;
Vauthier, ancien ingénieur des Ponts et chaussées.

Le Comité d'organisation s'est immédiatement occupé de recueillir des adhésions, et dans ce but il s'est adjoint un Comité de patronage destiné à faire connaître l'existence du Congrès et à solliciter des adhésions à l'étranger.

En même temps, le comité élaborait le règlement intérieur du Congrès, désignait les questions à traiter pendant les séances, sollicitait des rapports ou des conférences sur ces questions, et arrêtait un ordre du jour provisoire des travaux du Congrès.

Les résultats de ces délibérations sont donnés ci-après, à l'exception de l'ordre des travaux et des excursions qui, ayant subi quelques modifications de peu d'importance, n'a pas été reproduit dans les termes où il avait été arrêté par le Comité d'organisation.

L'ordre indiqué pour les travaux et excursions, pages VIII à X, est celui qui a été effectivement suivi.

LISTE DES MEMBRES DU COMITÉ DE PATRONAGE

I. MEMBRES D'HONNEUR

MM. le Ministre du commerce, de l'industrie et des colonies, commissaire général de l'Exposition universelle;
le Ministre des travaux publics;
le Ministre de l'agriculture.

II. MEMBRES ÉTRANGERS

Allemagne.

MM. Askenasy, secrétaire de la Société des ingénieurs et architectes de Francfort-sur-le-Mein;
Grahn, ingénieur à Coblentz;
Honsell, ingénieur en chef à Carlsruhe;
Lindley, ingénieur en chef de la ville de Francfort-sur-le-Mein.

Angleterre.

MM. Abernethy, ancien président de la Société des ingénieurs civils, à Londres;
Clark (Edwin), membre de la Société des ingénieurs civils, à Londres;
Courtenay Boyle, secrétaire adjoint au Ministère du commerce, à Londres;
Forrest (James), secrétaire de la Société des ingénieurs civils, à Londres;
Marshall Stetens, Canal de Manchester, à Manchester;
Vernon Harcourt (Leveson Francis), membre de la Société des ingénieurs civils, à Londres.

Autriche-Hongrie.

MM. de Goldschmidt, ingénieur, conseiller à Vienne;
Lechner, conseiller ministériel et directeur des travaux publics, à Budapest;
Marchetti, directeur de la Societé I. R. P. de navigation du Danube, à Vienne;
Pollack, secrétaire de l'Elbeverein, à Teplitz (Bohême);
Russ (le docteur Victor), membre du Parlement autrichien, à Vienne.

Belgique.

MM. De Raeve, administrateur, inspecteur général des Ponts et chaussées, à Bruxelles;
Dufourny, ingénieur principal des Ponts et chaussées, à Bruxelles;
Lamal, directeur général des travaux publics, à Bruxelles.

Brésil.

M. Pinheiro (Fernandez), délégué du Gouvernement brésilien, à Paris.

Chine.

M. Tcheng-ki-Tong (le général), attaché militaire à l'ambassade chinoise, à Paris.

Égypte.

Sir Colin Scott Moncrieff (le colonel), sous-secrétaire d'État au Ministère des travaux publics, au Caire.

Espagne.

M. Llaurado, ingénieur en chef du district forestier, à Madrid.

États-Unis.

MM. Bixby, capitaine du génie fédéral, à Wilmington (North Carolina);
Craighill, colonel du génie fédéral, à New-York;
Hutton, ingénieur en chef du Harlem river bridge, New-York;
Mahan, capitaine du génie fédéral, à Buffalo, N.-Y.;
Merrill, lieutenant-colonel du génie fédéral, à Cincinnati (Ohio).

Hollande.

MM. Caland, inspecteur général du Waterstaat, à La Haye;
Conrad, inspecteur du Waterstaat, à La Haye;
Van Diesen, ingénieur en chef du Waterstaat, à La Haye;
Van Zuylen, ancien colonel du génie, à La Haye.

Italie.

MM. Baccarini, ingénieur, député, ancien Ministre des travaux publics, à Rome;
Barilari (le commandeur), vice-président du Conseil supérieur des travaux publics, à Rome;
Betocchi (le commandeur), ingénieur, inspecteur général du génie civil, à Rome;
Brioschi, ingénieur, sénateur, ancien sous-secrétaire d'État, à Milan.

MM. Carpi (le commandeur Léonard), ingénieur, à Rome;
Nazzani (le chevalier), professeur d'hydraulique à l'École des ingénieurs, à Rome;
Torricelli, ingénieur, professeur d'hydraulique agricole à l'École des ingénieurs, à Rome.

Japon.

M. Fourouitsi (Kauy), professeur à la Faculté du génie civil, ingénieur au Ministère de l'intérieur, à Tokio.

Pérou.

M. Habich, directeur de l'École des ponts et chaussées et des mines, à Lima.

Portugal.

M. de Souza Gomès, membre du Conseil des travaux publics, à Lisbonne.

Roumanie.

M. Coutzarida, ingénieur, à Bukharest.

Russie.

MM. Aminoff (le baron), ingénieur en chef du canal de l'Obi à l'Iénisséi, à Tomsk (Sibérie);
Raffalovich, membre du Conseil du commerce et des manufactures au Ministère des finances de Russie, à Paris.

Serbie.

M. Knezevich, ingénieur, à Belgrade.

Suisse.

MM. Gonin, ingénieur, à Lausanne;
Lyon (Max), ingénieur, à Paris;
Pestalozzi, professeur à l'École polytechnique de Zurich;
Turrettini, conseiller administratif de la ville de Genève.

RÈGLEMENT

ARTICLE PREMIER.

Conformément aux arrêtés de M. le Ministre du commerce et de l'industrie en date du 2 août 1887 et du 24 décembre 1888, il est institué à Paris, au cours de l'Exposition universelle de 1889, un Congrès international de l'utilisation des eaux fluviales.

ART. 2.

Ce Congrès s'ouvrira, le 22 juillet 1889, dans le palais du Trocadéro; sa durée sera de six jours, après lesquels seront faites deux grandes excursions.

ART. 3.

Seront membres du Congrès les personnes qui auront adressé leur adhésion au secrétaire du Comité d'organisation avant l'ouverture de la session ou qui se feront inscrire pendant sa durée, et qui auront versé la cotisation dont le montant est fixé à *vingt francs*.

ART. 4.

Les membres du Congrès recevront une carte personnelle qui leur sera délivrée par les soins du Comité d'organisation et sur le vu de laquelle ils seront admis à assister aux séances et à prendre part aux excursions. Cette carte ne dispense pas d'acquitter le droit d'entrée à l'Exposition.

ART. 5.

Le Bureau du Comité d'organisation fera procéder, lors de la première séance, à la nomination du Bureau du Congrès et des bureaux des Sections.

ART. 6.

Le Bureau du Congrès fixe l'ordre du jour de chaque séance.

ART. 7.

Le Congrès comprend des séances générales, des séances de sections, des conférences, des excursions.

ART. 8.

Aucun travail ne peut être présenté en séance ni servir de point de départ à une discussion si, avant le 1er juillet, l'auteur n'en a fait admettre le résumé ou les conclusions au Comité d'organisation.

ART. 9.

Les orateurs ne pourront occuper la tribune pendant plus de quinze minutes, ni parler plus de deux fois dans la même séance sur le même sujet, à moins que l'Assemblée consultée n'en décide autrement.

ART. 10.

Les membres du Congrès qui auront pris la parole dans une séance devront remettre au Secrétaire, dans les vingt-quatre heures, un résumé succinct de leurs communications pour la rédaction des procès-verbaux. Dans le cas où ce résumé n'aurait pas été remis, le texte rédigé par le Secrétaire en tiendrait lieu.

ART. 11.

Le Comité d'organisation, après accord avec la Commission supérieure des Congrès et Conférences, pourra demander des réductions aux auteurs des résumés ; il pourra, si ces réductions sont insuffisantes, les effectuer lui-même.

ART. 12.

La clôture de la discussion sur chacune des questions traitées en séance sera prononcée par le Président, qui pourra faire, s'il le juge utile, un résumé des opinions émises.

Aucune conclusion ne devra être votée par le Congrès.

ART. 13.

Les procès-verbaux seront imprimés et distribués aux membres du Congrès, le plus tôt possible après la clôture de la session.

ART. 14.

Un compte rendu détaillé des travaux du Congrès sera publié par les soins du Comité d'organisation, qui se réserve de fixer l'étendue des mémoires ou communications livrées à l'impression.

ART. 15.

Le Bureau du Congrès statue en dernier ressort sur tout incident non prévu au règlement.

PROGRAMME DES QUESTIONS TRAITÉES AU CONGRÈS

I. QUESTIONS DISCUTÉES.

1re Section.

1. De l'avenir des canaux d'irrigation.

Rapporteurs : M. Llaurado, M. Cotard.

2. De l'aménagement des cours d'eau au point de vue de l'agriculture et de l'industrie.

Rapporteurs : M. Fournié, M. Barois.

3. De l'utilisation des eaux artésiennes.

Rapporteur : M. Rolland.

4. De l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau, et du meilleur mode de livraison de l'eau à domicile.

Rapporteurs : M. Lindley, M. Bechmann, M. Musquetier.

2e Section.

1. De la régularisation des cours d'eau au point de vue de la navigation.

Rapporteur : M. Jacquet.

2. De la canalisation des rivières et des divers systèmes de barrages mobiles.

Rapporteurs : M. Vernon-Harcourt, M. Pavie.

3. Des meilleurs modes de locomotion des bateaux sur les canaux et sur les rivières canalisées assimilées aux canaux.

Rapporteur : M. Derome.

4. Des élévateurs et des plans inclinés pour bateaux.

Rapporteurs : M. Dufourny, M. Cadart.

II. CONFÉRENCES.

1. Des droits individuels et collectifs sur les eaux courantes, par M. Beaurin-Gressier.
2. De l'utilisation des eaux en Chine, par M. le général Tcheng-ki-Tong.
3. Historique des améliorations successives de la navigation de la Seine, par M. Cameré.

ORDRE DES TRAVAUX DU CONGRÈS

Première journée. — Lundi 22 juillet.

9 *heures du matin.* — Séance d'ouverture, nomination et installation du Bureau du Congrès. — Division en sections, constitution des Bureaux des Sections.

10 *heures du matin.* — Conférence par M. Beaurin-Gressier.

2 *heures du soir.* — Séances de Sections.

4 *heures du soir.* — Visite du réservoir de Montsouris.

Deuxième journée. — Mardi 23 juillet.

9 *heures du matin.* — Séances de Sections.

1 *heure du soir.* — Visite des machines élévatoires d'Ivry, du barrage de Port-à-l'Anglais, du canal Saint-Maur et des appareils de traction mécanique des bateaux, du barrage Desfontaines, de l'usine hydraulique de Saint-Maur.

Troisième journée. — Mercredi 24 juillet.

9 *heures du matin.* — Séances de Sections.

1 *heure du soir.* — Séance de la deuxième Section.

3 *heures du soir.* — Visite du canal Saint-Denis.

Quatrième journée. — Jeudi 25 juillet.

9 *heures du matin.* — Séances de Sections.

1 *heure du soir.* — Visite de l'exposition française des Travaux publics, des modèles de barrages mobiles sur le quai et du barrage de Suresnes.

La visite du barrage de Suresnes a été faite sous la direction de M. Sébillot, chef du cabinet, du personnel et du secrétariat au Ministère des travaux publics, remplaçant M. le Ministre des travaux publics.

Cinquième journée. — Vendredi 26 juillet.

9 *heures du matin.* — Séances de Sections.

1 *heure du soir.* — Séance générale.

2 *heures du soir.* — Conférence par M. le général Tcheng-ki-Tong.

3 *heures du soir.* — Visite des expositions étrangères de travaux publics, de l'exposition de la ville de Paris et du mécanisme des fontaines lumineuses.

Sixième journée. — Samedi 27 juillet.

9 *heures du matin.* — Séance de la première Section.

2 *heures du soir.* — Conférence par M. Caméré.

3 *heures du soir.* — Séance générale de clôture.

Dimanche 28 juillet. — A 1 h. 30 m. Visite des écluses de Bougival. — A 7 h. Banquet offert aux membres de nationalité étrangère.

Lundi 29 juillet. — Départ pour Tergnier à 3 h. 45 m. de l'après-midi, visite des installations pour le halage funiculaire des bateaux. — Coucher à Boulogne-sur-Mer.

Mardi 30 juillet. — Départ de Boulogne à 8 heures du matin, visite de l'ascenseur des Fontinettes et du port de Calais. — Retour à Paris.

Mercredi 31 juillet. — Départ de Paris à 7 h. 45 m. du matin pour Vernon, visite de la Seine de Vernon à Rouen. — Banquet offert par la municipalité et la chambre de commerce de Rouen. — Coucher à Rouen.

Jeudi 1er août. — Visite du port de Rouen dans la matinée, et du port du Havre dans l'après-midi. — Banquet offert par la municipalité et la chambre de commerce du Havre. — Coucher au Havre.

Vendredi 2 août. — Visite de la Seine entre le Havre et Rouen. — Retour de Rouen à Paris par chemin de fer. — Séparation définitive.

En vue de témoigner l'intérêt qu'il portait aux travaux du Congrès, M. le Ministre des travaux publics a pris personnellement la direction de l'excursion sur la Basse Seine et dans les ports de Rouen et du Havre.

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES DU CONGRÈS

Abernethy, ancien Président de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, 2, Delahay street, London, S. W. (Angleterre).

Alby, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Clermont (Oise).

Aminoff (le baron), Ingénieur en chef du canal de l'Obi à l'Iénisséi, à Tomsk (Sibérie).

Arnoux, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 11, rue Cassette, à Paris.

Askenasy, Secrétaire de la Société des Ingénieurs et Architectes de Francfort-sur-le-Mein. Bockenheimer Anlage, 3, à Francfort-sur-le-Mein (Allemagne).

Babinet, Ingénieur des Ponts et chaussées, 5, rue Washington, à Paris.

Baccarini, Ingénieur, ancien Ministre des travaux publics, à Rome (Italie).

Bammeville (de), Ingénieur, chef d'exploitation de la Compagnie générale des eaux, 30, villa Molitor, à Paris.

Barilari (le commandeur), ancien Vice-Président du Conseil supérieur des travaux publics, délégué du gouvernement italien, à Rome.

Barois, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, Secrétaire général du Ministère des travaux publics d'Égypte, au Caire (Égypte).

Bassères, Ingénieur, chef de service à la Compagnie de Fives-Lille, 46, boulevard Maillot, à Neuilly (Seine).

Bazin, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 133, boulevard Raspail, à Paris.

Beau-de-Rochas, Ingénieur, 14, avenue des Charmes, à Vincennes (Seine).

Beaurin-Gressier, Chef de la division de la navigation au Ministère des travaux publics, 140, boulevard Raspail, à Paris.

Bechmann, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 1, place de l'Alma, à Paris.

Becq-Rouger, Architecte-voyer de la ville de Tours, à l'hôtel de ville, à Tours (Indre-et-Loire).

Beer, Procureur de la République à Châteaudun.

Belleville, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Rouen (Seine-Inférieure).

Bergère, Administrateur du canal de la Sambre à l'Oise, 22, rue Drouot, à Paris.

Bertrand, Ingénieur des Ponts et chaussées, 45, rue de Berlin, à Paris.

Betocchi (le commandeur), Inspecteur général du génie civil au Ministère des travaux publics, 127, Montecitorio, à Rome.

Biette, Ingénieur des Ponts et chaussées, secrétaire de la Commission de l'Hydraulique agricole, 22, rue de Bellechasse, à Paris.

Bixby, Capitaine du Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, à Wilmington, North Carolina (États-Unis).

Boch, Architecte, maire d'Annecy, 16, rue Pâquier, à Annecy (Haute-Savoie).

Bœmches, Secrétaire de la Société du Danube (Donauverein), Währing, Stefaniegasse, 1, à Vienne (Autriche).

Bœswillwald, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Soissons (Aisne).

Boire, Ingénieur civil, 86, boulevard Malesherbes, à Paris.

Bonnardel, Président de la Compagnie générale de navigation, 3, quai d'Occident, à Lyon (Rhône).

Bouffet, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Carcassonne (Aude).

Boulé, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 23, rue de la Boétie, à Paris.

Bouquet de la Grye, Directeur du Service hydrographique de la marine. membre de l'Institut, 4, rue Marbeuf, à Paris.

Bourdillat, Sous-Directeur de la Compagnie générale des eaux, 52, rue d'Anjou, à Paris.

Bourguin, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Mézières (Ardennes).

Bousigues, Ingénieur des Ponts et chaussées, 47, boulevard de Latour-Maubourg, à Paris.

Boutillier, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 24, rue de Madrid, à Paris.

Boutteville, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Mantes (Seine-et-Oise).

Bouvier, inspecteur général des Ponts et chaussées, 161, rue Saint-Jacques, à Paris.

Boys (du), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Aurillac (Cantal).

De Brazza, Commissaire général du Gouvernement dans le Congo français, 44, rue Jacob, à Paris.

Brioschi, Ingénieur, Sénateur, ancien Sous-Secrétaire d'État, à Milan.

Briqué, Ingénieur civil, chef du Service d'études d'utilisation des eaux d'égout de la ville de Paris, 22, rue des Écoles, à Paris.

Brondel, Transporteur par eau, à l'Isle-sur-le-Doubs (Doubs).

Brosselin, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 89, boulevard Malesherbes, à Paris.

Busiri, Délégué du Gouvernement italien.

Cadart (Gaston), Ingénieur des Ponts et chaussées, à Rouen (Seine-Inférieure).

Cadart (Gustave), Ingénieur des Ponts et chaussées, à Langres (Haute-Marne).

Cahen, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Chartres (Eure-et-Loir).

Caillez, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Saint-Quentin (Aisne).

Caland, Inspecteur général du Waterstaat, à La Haye (Hollande).

Caméré, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Vernon (Eure).

Captier, Secrétaire du Syndicat de la marine, 78, rue Taitbout, à Paris.

Carlier, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 9, rue de Sontay, à Paris.

Carpi (le Commandeur Léonard), Ingénieur, 102, via Seminario, à Rome.

Caubet, Administrateur délégué de la Compagnie générale de Navigation fluviale à vapeur, 48, rue Laffitte, à Paris.

Cêtre, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

Chaize, Administrateur délégué de la Compagnie générale des bateaux parisiens, 125, avenue de Versailles, à Paris.

Chauveau, Ingénieur civil, 4, avenue Percier, à Paris.

Clark (Edwin), Membre de l'Institut des ingénieurs civils de Londres; Cromwell house, à Marlow (Angleterre).

Clerc, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Vernon (Eure).

Coene (de), Ingénieur civil, 21, boulevard Jeanne-d'Arc, à Rouen.

Collard, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Beaune (Côte-d'Or).

Colson, Ingénieur des Ponts et chaussées, maître des requêtes au Conseil d'État, 17, rue de Tournon, à Paris.

Conrad, Inspecteur du Waterstaat, 5, van de Spiegel straat, à La Haye (Hollande).

Considère, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Quimper (Finistère).

Cotard (Ch.), Ingénieur civil, membre du Conseil supérieur de l'agriculture, 35, boulevard Haussmann, à Paris.

Courtenay-Boyle, Secrétaire adjoint au Ministère du commerce d'Angleterre, Board of Trade. Whitehall Gardens, London, S. W. (Angleterre).

Coutzarida, Ingénieur civil, entrepreneur, 19, strada Regale, à Bucharest (Roumanie).

Craighill, Colonel du Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, à Baltimore, Maryland (États-Unis).

Dartein (de), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 189, boulevard Saint-Germain, à Paris.

Debauve, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Beauvais (Oise).

Debray, Ingénieur des Ponts et chaussées, 11, rue Chomel, à Paris.

Delestrac, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Bourg (Ain).

Deligny, ingénieur civil, membre du Conseil municipal de Paris, 19, rue Clément-Marot, à Paris.

Delocre, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 1, rue Lavoisier, à Paris.

Deniau, Ingénieur civil, 4, avenue Percier, à Paris.

De Raeve, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 177, chaussée d'Ixelles, Bruxelles (Belgique).

Derome, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Compiègne (Oise).

Desprez, Ingénieur des Ponts et chaussées, au Havre (Seine-Inférieure).

D'Hauw, Secrétaire de l'Association des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand, 9, rue Plateau, à Gand (Belgique).

VAN DIESEN, Inspecteur du Waterstaat, à La Haye (Hollande).

DILLÉ, Sous-Chef de bureau au Ministère des travaux publics, 99, rue de Rennes, à Paris.

DOAT, Ingénieur, directeur de la Compagnie générale des Conduites d'eau, aux Vennes, Liège (Belgique).

DREYFUS, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Dunkerque (Nord).

VAN DRUNEN, Ingénieur, professeur à l'Université de Bruxelles, 9, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

DUFOURNY, Ingénieur principal des Ponts et chaussées, 100, rue de la Limite, à Bruxelles (Belgique).

DULAU, Président du Syndicat des entrepreneurs des travaux publics de France, 70, boulevard de Courcelles, à Paris.

DUSUZEAU, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Compiègne (Oise).

DUVAL, Directeur général de la Compagnie de Fives-Lille, 49, rue La Bruyère, à Paris.

FANDERLICK (Dr), Membre du Conseil provincial et de la Diète de Moravie, membre du Parlement autrichien, délégué du Conseil provincial de la Moravie, à Brünn (Moravie).

FAUCHER, Ingénieur en chef des Poudres et salpêtres, Vice-Président du Conseil de salubrité du Nord, à Lille (Nord).

FLAMANT, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 76, avenue de Villiers, à Paris.

FLEURY, Ingénieur civil, secrétaire du Congrès des travaux maritimes, 12, rue du Pré-aux-Clercs, à Paris.

FONTAINE, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Dijon (Côte-d'Or).

FORREST (James), Secrétaire de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, 25, Great George street, London, S. W. (Angleterre).

FOULARD, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées en retraite, 21, rue Franklin, à Paris.

FOURNIÉ, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 9, rue du Val-de-Grâce, à Paris.

FOUROUITSI (Kauy), Professeur à la Faculté du génie civil, ingénieur au Ministère de l'intérieur du Japon, à Tokio (Japon).

FOWLER, Ingénieur de la navigation de l'Ouse, Melbourne street, à York (Angleterre).

FRÉTIGNY (Ferdinand), de la maison Frétigny et fils, armateurs, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAGET (Emile), Ingénieur civil, 42, rue de Monceau, à Paris.

GALLIOT, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Dijon (Côte-d'Or).

GAUCKLER, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 16, rue Gay-Lussac, à Paris.

GIRARDON, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Lyon (Rhône).

GOLDSCHMIDT (DE), Ingénieur, Conseiller I. R., membre du Conseil municipal de la ville de Vienne, 7, Nibelungengasse, à Vienne (Autriche).

Gonin, Ingénieur en chef au Département des travaux publics du canton de Vaud, 4, avenue des Belles-Roches, à Lausanne (Suisse).

Grahn, Ingénieur civil, Mainzer ch. 28, à Coblentz (Allemagne).

Grandeau, Rédacteur du journal *le Globe*, 12, rue Grange-Batelière, à Paris.

Gros, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Mende (Lozère).

Gruson, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Lille (Nord).

Guérard, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Guerreiro (Mendès), Ingénieur portugais, Membre du jury de la classe 41, 7, boulevard Lannes, à Paris; 14, Calçada do Sacramento, à Lisbonne (Portugal).

Guillain, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, Directeur des routes, de la navigation et des mines au Ministère des travaux publics, 72 *bis*, rue des Sablons, à Paris.

Guillemain, Inspecteur général, directeur de l'École des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères, à Paris.

Habich, Directeur de l'École des ponts et chaussées et des mines, à Lima (Pérou).

Haguet, Rédacteur en chef du *Journal des Transports*, 15, rue Malher, à Paris.

Hallier, Général du génie en retraite, 64, rue de Bonneval, à Chartres (Eure-et-Loir).

Harlé (Emile), Ingénieur des Ponts et chaussées, 75, rue de Courcelles, à Paris.

Harrand, Ingénieur, chef d'exploitation de la Compagnie générale des eaux, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

Hervouët, Ingénieur de la Compagnie du canal de la Sambre à l'Oise, à Etreux (Aisne).

Hétier, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 11, rue de Londres, à Paris.

Heurtault, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Montargis (Loiret).

Hœrschelmann (de), Ingénieur, Fontanka, 99, à Saint-Pétersbourg (Russie).

Holtz, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 24, rue de Milan, à Paris.

Honsell, Directeur des travaux hydrauliques et du Bureau central météorologique et hydrographique, 36, Leopoldstrasse, à Carlsruhe (Allemagne).

Hougue (de la), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Amiens (Somme).

Humblot, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 14, rue du Cherche-Midi, à Paris.

Hutton, Ingénieur en chef du Harlem river bridge, 35, Broadway, à New-York (États-Unis).

Jacquelin (Gustave), Transporteur par eau, 50, avenue du Trocadéro, à Paris.

JACQUET, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 21, rue du Général-Foy, à Paris.

JOSSIER, Administrateur de la Compagnie de Navigation du Havre à Paris et Lyon, 34, boulevard de la Contrescarpe, à Paris.

JOURDE, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Granville (Manche).

JOZAN, Ingénieur des Ponts et chaussées, 15, rue du Quatre-Septembre, à Paris.

KEELHOFF, Ingénieur en chef, Directeur honoraire du service des irrigations de la Campine belge, à Neerpelt (Belgique).

KERVILER, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

KLUNSINGER, Ingénieur, III, Jacquingasse, 15, à Vienne (Autriche).

KNEZEVICH, Ingénieur de 1re classe au Ministère des travaux publics, délégué du Gouvernement serbe, Savamalska ulitza, à Belgrade (Serbie).

KRANTZ (C.), Maître des requêtes au Conseil d'État, 24, rue de Turin, à Paris.

LABROUSSE, Ingénieur, ancien officier de la marine nationale, 23, avenue Friedland, à Paris.

LAGOUT, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Beauvais (Oise).

LAGRENÉ (DE), Inspecteur général des Ponts et chaussées, 85, rue d'Assas, à Paris.

LAMAL, Directeur général des Ponts et chaussées, à Bruxelles (Belgique).

LARMINAT (DE), Ingénieur des Ponts et chaussées, à Auxonne (Côte-d'Or).

LARUE, Directeur de la Compagnie de navigation, 11, cours Rambaud, à Lyon (Rhône).

LAUNAY, Ingénieur des Ponts et chaussées, 24 *bis*, rue de Bourgogne, à Paris.

LAURIOL, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Chartres (Eure-et-Loir).

LAVOLLÉE, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 47, rue de Lille, à Paris.

LEBEAU, Chef de bureau au Ministère des travaux publics, 10, rue de Duras, à Paris.

LÈBE-GIGUN, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 31, rue Madame, à Paris.

LEBLANC, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 65, rue des Vignes, à Paris.

LECHALAS, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Rouen (Seine-Inférieure).

LE CHATELIER, Ingénieur des Ponts et chaussées, 95, rue de Rennes, à Paris.

LECHNER, Conseiller ministériel et Directeur des travaux publics de la ville de Budapest (Autriche-Hongrie).

LEFEBVRE, Commissionnaire en transports par eau, 26, rue Geoffroy-Lasnier, à Paris.

LEFEBVRE (fils), Commissionnaire en transports par eau, 26, rue Geoffroy-Lasnier, à Paris.

Legouez, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Versailles (Seine-et-Oise).

Lestelle, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Chaumont (Haute-Marne).

Lévy (Maurice), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, Membre de l'Institut, 258, boulevard Saint-Germain, à Paris.

Lévy (Paul), Ingénieur, 62, rue de Provence, à Paris.

Limasset, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Châlons-sur-Marne (Marne).

Lindley, Ingénieur en chef des travaux municipaux de la ville de Francfort-sur-le-Mein, Bittersdorffs platz, 29, à Francfort-sur-le-Mein (Allemagne).

Llaurado, Ingénieur en chef du District forestier, délégué du gouvernement espagnol, calle del Marques de la Enseñada, 6, à Madrid (Espagne).

Loppens, Ingénieur honoraire des Ponts et chaussées belges, à Nieuport (Belgique).

Loureiro, Ingénieur, Directeur des travaux du Tage et du port de Lisbonne, 27, rue Le Peletier, à Paris; T. do Sacramento âo Carmo, 16-3°, à Lisbonne (Portugal).

Lyon, Ingénieur, ancien élève de l'École polytechnique fédérale suisse, 55, rue de Prony, à Paris.

Macaigne, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Cambrai (Nord).

Mahan, Capitaine du Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, à Buffalo, N. Y. (États-Unis).

Manning (Robert), Ingénieur en chef au Ministère des travaux publics, à Dublin (Irlande).

Marchetti, Directeur de l'exploitation de la première Compagnie I. R. P. de navigation à vapeur sur le Danube, à Vienne (Autriche).

Marion, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Pontoise (Seine-et-Oise).

Martineau, Administrateur de la Sambre française canalisée, 22, rue Drouot, à Paris.

Mas (de), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Auxerre (Yonne).

Mayoussier, Sous-Directeur commercial des manufactures de produits chimiques de Saint-Gobain, 9, rue Sainte-Cécile, à Paris.

Mazoyer, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Nevers (Nièvre).

Mendell, Colonel du Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, à San Francisco (Californie).

Mengin, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Rouen (Seine-Inférieure).

Merrill, Lieutenant-colonel du Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, à Cincinnati, Ohio (États-Unis).

Mesureur, Ingénieur, 5, rue de Téhéran, à Paris.

Mille, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Arras (Pas-de-Calais).

Mocquery, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Dijon (Côte-d'Or).

Moncrieff (le Colonel sir Colin Scott), Sous-Secrétaire d'État au Ministère des travaux publics d'Égypte, au Caire (Égypte).

Monet, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MOTET, Ingénieur, 181, boulevard Saint-Germain, à Paris.

MOTTE (le comte de la), 3, rue du Débarcadère, à Paris.

MUSQUETIER, Ingénieur du Waterstaat, à Utrecht (Hollande).

NAZZANI (le chevalier), Professeur d'hydraulique à l'École des ingénieurs, 58, via Cavour, à Rome (Italie).

NOËL, Ingénieur des arts et manufactures, 7, rue Ségalier, à Bordeaux (Gironde).

NOUAILHAC-PIOCH, Ingénieur des Ponts et chaussées, 35, rue de Bellechasse à Paris.

NYSSENS-HART, ingénieur des Ponts et chaussées, chef du Cabinet du Ministre des Travaux publics de Belgique, délégué du Gouvernement belge, 190, rue de la Loi, à Bruxelles (Belgique).

ORIOLLE, Ingénieur constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).

PARTIOT, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 104, rue de Rennes, à Paris.

PAVIE, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Meaux (Seine-et-Marne).

PELLETREAU, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Constantine (Algérie).

PÉRIER DE FÉRAL, Administrateur du touage de l'Yonne, 34, boulevard de la Contrescarpe, à Paris.

PESLIN, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Douai (Nord).

PESTALOZZI, Professeur à l'École polytechnique fédérale suisse, à Zurich (Suisse).

PEZERAT (DE), Ingénieur civil, chef d'exploitation de la Compagnie des eaux pour l'étranger, rua do Rosario, 150, à Porto (Portugal).

PHILIPPE, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, Directeur de l'hydraulique au Ministère de l'agriculture, 28, avenue Marceau, à Paris.

PIGOT (Th), Professeur de construction au Royal College of Science for Ireland, 4, Wellington road, à Dublin (Irlande).

PIHOU, Administrateur de la Compagnie de Navigation du Havre à Paris et Lyon, 34, boulevard de la Contrescarpe, à Paris.

PINHEIRO (Fernandez), Ingénieur civil, chef de la Commission du Ministère des travaux publics du Brésil, délégué du Gouvernement brésilien, 3, avenue Montespan, à Paris.

POCHET, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 2, rue Largillière, à Paris.

POLE (Dr W.), Membre de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, 7, Victoria street, London, S. W. (Angleterre).

POLLACK, Secrétaire de l'Elbeverein, à Tœplitz (Bohême).

PONTZEN, Ingénieur civil, 3, avenue du Coq, à Paris.

POST (Major), du Corps des Ingénieurs de l'armée des États-Unis, à Washington (États-Unis).

POTEL, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à La Rochelle (Charente-Inférieure).

POUSSE-JUCHET, Chef d'exploitation de la Compagnie générale des eaux, 24, rue Gioffredo, à Nice (Alpes-Maritimes).

Préaudeau (de), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, 1, rue du Cherche-Midi, à Paris.

Pronnier, Ingénieur civil, Directeur de la Compagnie de touage de la basse Seine et de l'Oise, 23, quai Voltaire, à Paris.

Quinette de Rochemont, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, au Havre (Seine-Inférieure).

Raffalovich, Membre du Conseil du commerce et des manufactures au Ministère des finances de Russie, 19, avenue Hoche, à Paris.

Reid, Ingénieur, Directeur des travaux, à Barrage (Égypte).

Regimbeau, Ingénieur des Ponts et chaussées, 4, rue de Babylone, à Paris.

Regnard, Ingénieur, membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils, 59, rue Bayen, à Paris.

Renaud, Ingénieur des Ponts et chaussées, 35, rue Saint-Pétersbourg, à Paris.

Richet (le Dr), Directeur de la *Revue scientifique*, 111, boulevard Saint-Germain, à Paris.

Rigaux, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Charleville (Ardennes).

Rolland, Ingénieur des mines, 60, rue Pierre-Charron, à Paris.

Roman, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Périgueux (Dordogne).

Rousseau, Ingénieur des Ponts et chaussées, 12, rue de la Pompe, à Paris.

Rousselle, Inspecteur général des Ponts et chaussées en retraite, 72, rue de Bellechasse, à Paris.

Rouxel, Publiciste, 2, rue des Jardins-Saint-Paul, à Paris.

Russ (le Dr Victor), Membre du Parlement autrichien, Président de la Donauverein et de l'Elbeverein, Schillergasse, 3, à Vienne (Autriche).

Sagnier, Directeur du *Journal de l'Agriculture*, 2, carrefour de la Croix-Rouge, à Paris.

Schotel, Ingénieur civil, à Rotterdam (Hollande).

Schromm, Ingénieur, Conseiller, Inspecteur de la navigation, Hernals, Veronikagasse, 38, à Vienne (Autriche).

Senties (Pedro), Directeur de l'École d'agriculture du Mexique, Délégué du Gouvernement mexicain, à Mexico; 33, Chaussée d'Antin, à Paris.

Soubeiran, Ingénieur des mines, Directeur de l'Institut du Nord, à Lille (Nord).

Souza Gomès (de), Membre du Conseil des travaux publics, 14, Calle do Sacramento, à Lisbonne (Portugal).

Spens de Booden, Ingénieur, Délégué de la Diète du royaume de Bohême, Smichow, 422, Karlova ulice, à Prague (Bohême).

Stevens Marshall, Compagnie du Canal de Manchester, à Manchester (Angleterre).

Stoclet, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Lille (Nord).

Stœcklin, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 6, avenue de l'Alma, à Paris.

Talandier, Directeur de la Compagnie générale des eaux, 52, rue d'Anjou, à Paris.

TCHENG-KI-TONG (le Général), Attaché militaire à la Légation impériale de Chine, 7, place Victor-Hugo, à Paris.

THÉLIN (DE), Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Ajaccio (Corse).

THOUX, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

TISSERANT, Rédacteur au Ministère des travaux publics, Secrétaire du Directeur des routes, de la navigation et des mines, 40, rue Poussin, à Paris.

TORRICELLI, Ingénieur, Professeur d'hydraulique agricole à l'École des ingénieurs, San Pietro in Vincoli, à Rome (Italie).

TOULON, Ingénieur des Ponts et chaussées, 36, avenue du Maine, à Paris.

TURRETTINI, Conseiller administratif, Délégué aux travaux de la ville de Genève (Suisse).

VARIGNY (DE), Délégué du Gouvernement hawaïen, 7, rue de Sfax, à Paris.

VAURY, Administrateur de la Société d'Études du touage du Rhône, 162, rue de Rivoli, à Paris.

VAUTHIER, ancien Ingénieur des Ponts et chaussées, conseiller municipal de Paris, 18, rue Molitor, à Paris.

VERNON-HARCOURT (Leveson-Francis), Membre de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, 6, Queen Anne's gate, London, S. W. (Angleterre).

VÉTILLART, Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

VEYRASSAT, Ingénieur, Directeur de la Société des eaux de l'Arve, 3, rue Lévrier, à Genève (Suisse).

VOISIN-BEY, Inspecteur général des Ponts et chaussées, 3, rue Scribe, à Paris.

VOLANT, Directeur de la Société générale de Navigation sur les canaux du centre, à Roanne (Loire).

WATSON, Secrétaire de l'Académie américaine des Arts et Sciences, 107, Marlborough street, à Boston (États-Unis).

WEEDON, Ingénieur, Membre associé de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, à Brisbane, Queensland (Australie).

WESTERN (Lieutenant-colonel J.-H.), du Corps royal des Ingénieurs, Inspecteur des irrigations d'Égypte, 7, first avenue, à Brighton (Angleterre).

WILLCOKS, Inspecteur des irrigations, au Caire (Égypte).

WILLIAMS, Président du Conseil d'administration de la Société de touage, 9 *bis*, rue Michel-Ange, à Paris.

VAN ZUYLEN, ancien Chef de l'arme du génie dans l'armée des Indes orientales, Vice-Président de la Commission néerlandaise de l'Exposition universelle, à La Haye (Hollande).

La liste précédente comprend 255 noms qui se répartissent comme il suit, au point de vue des nationalités :

Français		173
Étrangers :		
Angleterre	10	
Autriche-Hongrie	10	
Belgique	9	
États-Unis	8	
Italie	8	
Hollande	6	
Égypte	5	
Suisse	5	
Allemagne	4	
Portugal	4	
Russie	3	
Australie	1	
Brésil	1	
Chine	1	
Espagne	1	
Hawaï	1	
Japon	1	
Mexique	1	
Pérou	1	
Roumanie	1	
Serbie	1	
	82	82
TOTAL ÉGAL		255

Les 173 Français se composent de 101 Ingénieurs des Ponts et chaussées et de 72 Ingénieurs civils ou autres. Les proportions respectives sont donc les suivantes :

Français.	Ingénieurs des Ponts et chaussées	0,40	0,68
	Ingénieurs civils et autres	0,28	
Étrangers			0,32
			1,00

I

RAPPORTS

DISTRIBUÉS

AVANT L'OUVERTURE DU CONGRÈS

DE

L'AVENIR DES CANAUX D'IRRIGATION

PAR

M. ANDRÉ DE LLAURADO
Ingénieur en chef du district forestier de Madrid

DE

L'AVENIR DES CANAUX D'IRRIGATION

RAPPORT

DE

M. ANDRÉ DE LLAURADO

Ingénieur en chef du district forestier de Madrid.

Parmi les diverses questions qui intéressent les canaux d'irrigation, il en est une qui me paraît capitale; c'est celle qui se rapporte à la détermination des entités sociales qui doivent les construire, les conserver, et les rendre féconds pour l'accroissement de la richesse publique. C'est sous cet aspect que je vais traiter la question, en présentant à l'appui de mes idées les faits que j'ai pu observer en Espagne.

Il est incontestable que, dans les pays du Nord, l'irrigation augmente très notablement le rendement des prairies, surtout pendant la saison chaude, lorsque les eaux atmosphériques font défaut; et que, dans les pays méridionaux, l'arrosage artificiel devient une nécessité absolue, en été, pour suppléer aux pluies, et dans les autres saisons, pour corriger les effets de leurs irrégularités et de leur inégale répartition.

Deux procédés principaux peuvent être employés pour recueillir les eaux nécessaires aux cultures. Dans les vallées ouvertes, possédant des cours d'eau abondants, avec les conditions d'exploitation les plus favorables, on utilise naturellement les eaux en les élevant par des barrages et en les amenant par des canaux sur les terres. Dans les pays de montagne, au contraire, les accidents topographiques opposent de sérieuses difficultés au développement des canaux d'amenée et du réseau distributif des rigoles secondaires; dans ce cas l'emmagasinement des eaux de pluie dans des réservoirs placés à proximité des terrains à irriguer, s'impose d'une manière presque absolue. L'Espagne, notamment, n'a pas de fleuves qui prennent leurs sources à des altitudes assez grandes, pour qu'ils y soient alimentés par les neiges perpétuelles; on n'y voit pas non plus de grands lacs qui regularisent le régime des cours d'eau; les pluies y sont rares, et généralement peu abondantes. Aussi l'établissement de réservoirs

pour recueillir les eaux pendant la période humide, est-il indiqué, non seulement dans la partie élevée des bassins, mais encore dans la partie la plus basse; c'est le moyen unique qu'on ait de suppléer à l'insuffisance des débits d'étiage des rivières, dont le volume décroît dans une effrayante proportion, précisément à l'époque où l'eau serait le plus nécessaire aux besoins de l'agriculture.

Quel que soit le moyen adopté pour recueillir les eaux, les entreprises d'irrigation, pour peu qu'elles soient importantes, se partagent en deux groupes principaux : 1° celles qui peuvent réussir par les seules forces de l'intérêt individuel; 2° celles qui exigent l'intervention et les secours de l'État. Abstraction faite des causes particulières qui peuvent s'opposer au développement des arrosages, et que j'examinerai sommairement plus loin, l'activité privée suffira, au point de vue économique, à mener à bonne fin un projet d'irrigation, lorsque les redevances des arrosants et les autres produits directs acquis à la Compagnie concessionnaire assurent un intérêt suffisant au capital, et permettent de l'amortir pendant la durée de la concession. Si ces conditions ne sont pas remplies, l'entreprise est nécessairement ruineuse pour les intérêts privés qui s'y engagent.

Toute amélioration agricole exige un laps de temps assez long pour donner un revenu rémunérateur; et c'est pendant la période où le revenu manque le plus souvent, c'est-à-dire pendant les premières années d'une entreprise d'arrosage, que les dépenses sont les plus grandes, car ce n'est pas sans difficultés ni sans chances d'accidents qu'on amène l'eau dans des levées en terre fraîchement remuée, et dans tous les ouvrages qu'exige l'établissement d'un grand réservoir ou d'un grand canal.

Les projets d'irrigation qui ne sont pas susceptibles d'assurer dans un court délai un revenu rémunérateur, restent pour ces diverses raisons en dehors du cercle des opérations dévolues à l'industrie privée; et bien qu'on ne puisse pas dire d'une manière absolue qu'ils doivent tous rentrer dans la sphère d'action de l'État, puisque ses ressources sont toujours limitées, on peut affirmer qu'ils lui sont avantageux, car en outre du tarif qu'il perçoit directement, le Trésor public profite, par l'accroissement de l'impôt, de l'augmentation de la richesse nationale, et des prélèvements que le fisc opère sur les diverses transformations qu'elle subit.

Parmi les canaux modernes de l'Espagne, l'un d'eux, le canal Impérial d'Aragon, fournit à l'appui de ces appréciations un enseignement décisif. Ce canal prend à l'Èbre un volume d'eau de 25 mètres cubes environ par seconde et arrose une surface de 27 000 hectares. Il a coûté 25 millions de francs, dont 20 millions ont été fournis par l'État, qui supporte en outre une charge annuelle de 1 579 000 francs, dans laquelle est comprise une somme de 187 000 francs pour frais d'administration, d'entretien et de réparations des ouvrages. Le produit immédiat qu'il en retire, en qualité d'entrepreneur, montait en 1888 à la somme de 199 121 francs, qui se décompose comme il suit :

Service de navigation	5 374	28
— d'arrosage	113 212	03
— d'eau potable	2 112	50
— du chemin de fer	1 160	»
— d'établissements industriels	44 005	42
Droits d'herbages et autres	30 029	22
Vente d'arbres	1 398	30
Produits divers	1 829	49
Total	199 121	2

Le service de navigation rapportait 60 250 francs en 1859; ce produit a subi une baisse de 90 pour 100, par suite de la concurrence du chemin de fer de Saragosse à Pampelune, ouvert depuis cette époque.

Si, du rendement total constaté en 1888, on retranche les frais d'administration et d'entretien, 162 072 fr. 40, il reste comme bénéfice net une somme de 37 048 fr. 84, produit insignifiant comparativement au capital engagé. Sans paralyser aucunement le progrès de la richesse agricole de la contrée desservie par le canal, ce revenu pourrait être amélioré, et porté à 250 000 francs; mais, même dans ce cas entièrement favorable, le résultat financier de l'entreprise serait tout à fait désastreux. L'affaire pourtant, loin d'être ruineuse pour l'État comme elle le serait pour une compagnie, a largement rémunéré les sacrifices du Trésor public, en donnant la vie à une vaste contrée, et en créant de nouvelles sources de richesses, sur lesquelles l'État prélève sa part, directement ou indirectement.

En 1849 le gouvernement créa des syndicats d'arrosants, et réduisit en même temps de moitié le rendement financier du canal; mais cet amoindrissement du revenu direct a été compensé, et au delà, par une augmentation du tiers dans la surface cultivée, et par un accroissement tout aussi notable de l'intensité des cultures. Des terrains restés en friche, parce qu'ils ne pouvaient supporter l'ancien tarif de l'arrosage, sont aujourd'hui cultivés avec soin; tel champ qui était soumis au régime de la jachère, rapporte à présent jusqu'à trois récoltes par année; et voilà une nouvelle preuve des bénéfices que peut assurer à l'État une mesure ruineuse pour une Compagnie particulière.

On fait en ce moment des travaux de réparation au grand barrage de l'Èbre; la dépense est évaluée à 1 500 000 francs, dont le tiers est à la charge des usagers, et les deux tiers à la charge du Trésor public. On prolonge aussi le canal jusqu'à la ville de Quinto, sur une longueur de 40 kilomètres, pour arroser une surface de 7000 hectares; la dépense, qui sera de 2 millions de francs, est entièrement à la charge de l'État.

La Compagnie du canal d'Urgel, qui a été terminé en 1861, a déboursé pour ses travaux un capital de 28 525 000 francs, ainsi décomposé:

Capital actions	14 000 000	»
Capital obligations, devant rapporter un intérêt de 6 pour 100.	8 000 000	»
Subvention reçue de l'État, sous forme de prêt sans intérêt.	6 525 000	»
Total.	28 525 000	»

Le canal principal fournit en temps normal un volume de 16 mètres cubes par seconde; la surface arrosée est de 50 000 hectares; elle est cultivée en céréales, avec le régime de la jachère, ce qui réduit la surface arrosable à 25 000 hectares chaque année. Cette culture n'est pas faite avec grand soin; on n'y applique pas assez largement les engrais ou les amendements : aussi la terre ne rapporte guère plus de quatre à cinq grains pour un. Le produit net à distribuer de 1876 à 1886 a suffi à peine pour assurer un intérêt de 2 pour 100 aux obligations; quant aux actions, elles n'ont aucune valeur, et n'en auront probablement aucune pendant les quatre-vingt-dix-neuf années que doit durer la concession. Le produit brut annuel s'est élevé, pendant cette période de dix ans, à 633 886 francs; les frais annuels d'administration et d'entretien montent à la somme de 246 172 francs, c'est-à-dire à peu près 1 franc par mètre de canal; car le canal principal et les quatre branches secondaires qui s'en détachent, présentent ensemble une longueur de 246 kilomètres. L'État perçoit chaque année sous forme d'impôt une somme de 900 000 francs sur les terrains compris dans la zone irriguée; que le canal vienne à être supprimé, et ce revenu se réduirait sur-le-champ au cinquième de sa valeur. La Compagnie est nécessairement dans un état très précaire, tandis que l'État jouit de toute la somme des utilités produites. Le Gouvernement pourrait faire l'abandon du prêt de 6 250 000 francs, qui ne lui sera jamais remboursé. Mais il tient, paraît-il, à le conserver à titre de créance dans son budget annuel. Les cultivateurs qui emploient les eaux du canal d'Urgel n'ont jamais fait le curage des rigoles de distribution; de sorte que la contrée serait devenue tout à fait marécageuse et malsaine, si la compagnie, malgré sa situation obérée, n'avait procédé pour son propre compte aux travaux d'assainissement. Sans être propriétaire du sol, la Compagnie concessionnaire a droit, en vertu du contrat passé avec les arrosants, au neuvième des fruits produits. Or ce droit serait illusoire, si la zone irriguée devenait stérile, si les eaux qui doivent la féconder y semaient au contraire les fièvres paludéennes et la mort. De 1876 à 1886, la Compagnie a dépensé en moyenne 30 000 francs par an en travaux de curage, et tout en assurant la salubrité du pays, elle a augmenté la surface cultivée de 3000 hectares environ.

Si les canaux d'irrigation ont l'inconvénient de revenir à un prix très élevé, par suite de l'importance des constructions à exécuter et du long trajet qu'on a souvent à faire parcourir aux eaux, les grands réservoirs présentent aussi de grands inconvénients, soit à cause des difficultés

techniques de leur emplacement, soit à cause du risque des atterrissements qui peuvent s'y produire : ce dernier risque est très grave et il est très difficile de l'éviter, surtout si le bassin de réception des eaux pluviales est constitué par des terrains opposant une faible résistance à leur action érosive.

Les entreprises de construction des grands barrages-réservoirs sont sujettes aux mêmes difficultés financières que celles qui ont pour objet la construction des canaux. Je citerai à l'appui de cette assertion ce qui se passe pour la Compagnie du barrage-réservoir de Puentes ou de Lorca, récemment construit dans la province de Murcie. Ce bel ouvrage a été établi pour contenir 31 millions de mètres cubes d'eau, et a coûté 7 812 000 francs. La rivière Guadalentin, qui l'alimente, a un débit moyen de 350 litres par seconde à l'étiage. Avant la construction, ce volume d'eau à l'étiage constituait une propriété spéciale, distincte de celle des terres à arroser, lesquelles ont une étendue de 11 500 hectares. L'eau se vendait aux enchères, à des prix parfois très élevés, surtout lorsque l'étiage était très bas et les besoins d'eau très pressants. De 1859 à 1880, le prix moyen de la vente des eaux s'élevait par an à 268 298 francs. La construction du barrage a augmenté notablement la quantité des eaux offertes à l'arrosage; les prix de vente se sont donc abaissés, et à tel point, que ni la vente des eaux réservées comme propriété particulière, d'après les anciens droits, ni celle des eaux du réservoir vendues au profit de la Compagnie concessionnaire, ne suffisent pour couvrir les frais d'administration de la communauté des propriétaires, ni pour donner un intérêt au capital engagé dans la construction. La Compagnie se soutient aujourd'hui, grâce à une annuité de 237 671 francs, qui lui est accordée pour six années seulement par le gouvernement, par application d'une loi de 1883 sur les secours aux entreprises de canaux et d'irrigation. Lorsque ce secours passager sera supprimé, la Compagnie se trouvera dans une situation très difficile, à moins qu'elle ne modifie l'ancien projet, en vue d'étendre la zone d'irrigation pour y appliquer le surplus des eaux dont elle dispose. Mais il est à craindre que l'atterrissement très rapide que subit le réservoir, ne rende cette augmentation impossible : après quelques années d'emploi, le fond du réservoir s'est couvert d'une couche d'alluvion qui grossit toujours, et qui atteint déjà près du barrage l'épaisseur de 14 mètres.

Le barrage-réservoir de Monteaguado, terminé en 1881, dans la province de Soria, a coûté à la Compagnie 225 000 francs; le tarif de l'eau est resté trop élevé pour encourager les propriétaires à l'appliquer à leurs cultures; aussi l'usage en est-il très restreint et le capital de la construction ne reçoit aucune rémunération.

Le barrage-réservoir de Calahorra, récemment construit dans la province de Logrono, a absorbé la somme de 105 270 francs. L'eau est vendue au prix de 2 à 4 francs l'heure, pour un débit continu de 33 litres 1/3 par

seconde. Le revenu de l'entreprise depuis 1885 n'a pas dépassé 250 francs par an.

Je pourrais citer d'autres barrages-réservoirs modernes, dans lesquels on observe de même une énorme disproportion entre le capital employé et le revenu réalisé. D'autres réservoirs, d'importance secondaire, construits par l'association des propriétaires intéressés, ou par des Compagnies particulières, mais dans des régions où la culture a le caractère intensif et où l'eau a une grande valeur, ont au contraire donné des bénéfices rémunérateurs. Mais ce n'est pas là le cas général, et l'état misérable auquel sont réduites la plupart des entreprises d'irrigation, contribue à accroître dans une forte proportion les risques des atterrissements; ce n'est pas à une autre cause qu'il faut attribuer le colmatage presque complet du réservoir de Nijar, qui pouvait contenir à l'origine 15 millions de mètres cubes d'eau, et qui est entièrement remblayé à présent.

Parmi les diverses causes qui contribuent à réduire la rémunération des capitaux employés dans les entreprises d'irrigation, les unes sont pour ainsi dire *naturelles*, et se rattachent à la nature spéciale de la richesse à exploiter; les autres dépendent de la fausse direction donnée à l'effort qui doit féconder l'entreprise avec les moindres déboursés possibles.

Le premier écueil contre lequel vient se briser toute entreprise d'irrigation est la lenteur avec laquelle l'agriculture se transforme dans la contrée nouvellement irriguée. Si l'on admet que l'eau est offerte à assez bas prix pour exciter le cultivateur à introduire l'arrosage sur ses terres, il faut encore qu'il ait à sa disposition, ou qu'il puisse emprunter à des conditions avantageuses, le capital nécessaire pour opérer ces diverses transformations. L'insuffisance de la population, la lenteur avec laquelle elle s'accroît, le manque d'aptitude chez le cultivateur, son apathie, son asservissement à la culture traditionnelle, la nécessité où il se trouverait, s'il adoptait les procédés perfectionnés, de stimuler la production par des engrais nouveaux et par un assolement plus convenable, sont autant de causes qui retardent sur chaque point l'introduction de la culture intensive. A ces causes générales s'ajoutent dans certains pays des circonstances particulières, telles que les accidents topographiques, l'absence des voies de communication, l'éloignement des marchés. Là, au contraire, où l'habitude des arrosages existe, lorsqu'il s'agit seulement de compléter l'insuffisance d'un volume d'eau utilisé depuis de longues années, les progrès de la culture sont rapides; comme on peut le voir dans la région centrale de l'Èbre, depuis que le canal Impérial a apporté son appoint au débit des anciens canaux.

La constitution de la propriété arrosable influe beaucoup aussi sur la transformation et le développement des cultures. Lorsque la propriété comprend de grands lots, partagés entre plusieurs fermiers qui les cultivent, ces fermiers n'ont pas ordinairement les ressources nécessaires pour

améliorer les terres qu'ils font valoir, ils ne cherchent qu'à en tirer le plus grand profit possible, sans se préoccuper de l'appauvrissement qui peut en résulter, sans se lancer dans des perfectionnements d'avenir, qui n'auraient pas de résultat immédiat. La petite propriété, ou celle qui est morcelée en parcelles de petite étendue, ne se prête pas non plus à l'application des procédés que la mécanique et la science agricole mettent aujourd'hui à la portée des cultivateurs.

Les anciennes concessions d'eau déterminent parfois, d'une manière un peu vague, la part qui est faite à l'arrosage, et celle qui est réservée pour les usines. La proportion entre ces deux modes d'emploi n'est pas d'ailleurs toujours strictement observée. On pourrait sans doute, en revisant les anciennes concessions, fixer d'une manière très certaine les droits des usagers, et trouver encore un certain volume d'eau disponible pour des applications nouvelles. L'Administration doit arriver tôt ou tard à concilier les intérêts opposés des industriels et des agriculteurs, sans sacrifier les uns aux autres. Dans plusieurs cas, elle pourrait sans injustice faire pencher la balance du côté des agriculteurs, car les usiniers peuvent souvent substituer avec avantage une autre puissance motrice aux chutes d'eau, tandis qu'on ne peut remplacer par aucun autre agent l'eau nécessaire à la culture.

Les bénéfices que l'arrosage peut assurer aux terres cultivées sont proportionnels au volume d'eau dont on dispose, ce volume éprouvant des changements avec l'étendue de la surface à arroser, le climat, la nature du sol, les formes topographiques, les méthodes de culture, etc. Pour apprécier une entreprise d'irrigation lorsque la zone à irriguer est placée dans des conditions favorables, il faut comparer l'estimation de la dépense à la quantité d'eau qui est offerte au cultivateur, plutôt qu'à l'étendue de la zone arrosable. Quand on procède autrement et qu'on fait dépendre l'étendue de cette zone des conditions techniques de la construction, on est conduit presque toujours à exagérer la dépense de premier établissement et à surcharger le capital de l'entreprise d'un excès qui aurait pu trouver ailleurs un meilleur emploi. Si l'intérêt du capital engagé force à élever le tarif à un taux que le cultivateur ne puisse atteindre, l'eau recueillie demeure inutilisée, au préjudice de l'entreprise et de la prospérité des cultures; si, au contraire, on abaisse le tarif pour encourager l'arrosage, le capital employé est exposé à ne plus recevoir sa juste rémunération, et il peut même arriver que l'œuvre devienne entièrement stérile, faute des ressources nécessaires à l'entretien et aux réparations des ouvrages. Parfois encore l'eau fait défaut, et l'entreprise périclite. Le canal du Hénarès, ouvert pour l'irrigation d'une zone de 10 000 hectares, est revenu à la somme de 4730 000 francs. Mais la rivière dont il emprunte les eaux n'a pas à l'étiage une portée normale bien assurée; le débit s'est abaissé à 517 litres par seconde, quantité d'eau qui suffit à peine au service de deux petits canaux plus anciens, compris dans la zone du nouveau canal.

Aussi la Compagnie du canal de Hénarès a-t-elle éprouvé un vrai désastre financier.

Si, dans le cas contraire, la capacité des canaux d'amenée est supérieure à ce qu'exigent l'étendue et les besoins de la zone à desservir, l'effet économique final est encore le même. Le barrage-réservoir de Nijar, construit en 1864, fut établi avec une capacité plus grande que le volume d'eau qu'il pouvait recueillir, d'après l'étendue du bassin alimenté par les eaux de pluie. Son prix excessif élevant par trop le prix de vente de l'eau à distribuer, en limita tellement l'emploi, qu'il fallut abandonner l'entreprise : le réservoir, comme on l'a vu plus haut, est aujourd'hui à peu près complètement comblé par les dépôts des eaux.

Insistons donc sur ce point, qui est capital : pour qu'un projet d'aménagement des eaux d'arrosage soit profitable à l'entrepreneur en même temps qu'aux cultivateurs, il est nécessaire que l'arrosage revienne à bas prix; la culture ne manque pas de se développer lorsque l'entreprise d'arrosage peut céder l'eau à prix très modéré, surtout si un heureux concours de circonstances intervient pour éliminer les résistances passives que nous avons signalées plus haut.

Il arrive souvent que les entreprises d'irrigation, tout en menant avec succès l'exécution de leurs travaux, voient la construction absorber un capital bien supérieur au montant de l'estimation primitive. Cet accroissement des dépenses, qui prend parfois des proportions effrayantes, est dû à la difficulté de prévoir certains accidents plus ou moins graves qui se produisent dans l'exécution des travaux; ou bien il est la conséquence d'un plan arrêté d'avance, en vue de faciliter la constitution de la Compagnie avec un capital initial insuffisant. Qu'il y ait erreur ou fraude, le résultat immédiat de cette insuffisance est une diminution du taux des rendements, et une modification radicale des bases de l'affaire. Le devis du canal d'Urgel, d'après lequel la concession fut accordée, s'élevait à 8 000 000 francs; c'était à peine ce qu'il fallait pour ouvrir les souterrains, même en les estimant au prix très modéré de 650 francs le mètre courant. On le modifia une première fois pour le porter à 14 410 000 francs, mais les dépenses ne s'arrêtèrent pas là et la Compagnie a dépensé plus de 20 millions jusqu'à ce jour. On ne doit pas oublier que, pour qu'un projet d'irrigation puisse donner des produits, il faut y comprendre, non seulement les canaux principaux, mais tout le réseau distributif qui amène l'eau en tête de chaque parcelle; et c'est ce que la Compagnie du canal d'Urgel a été obligée de faire, sans compter l'assainissement de la zone arrosable, comme nous l'avons dit déjà.

Les mesures législatives prises en Espagne pour encourager la formation des Compagnies d'irrigation n'ont donné jusqu'ici presque point de résultats. J'en indiquerai sommairement les plus importantes.

Conformément à l'article 198 de la loi sur les eaux du 13 juin 1879, les Compagnies qui prennent à leur charge la construction de canaux ou de

réservoirs pour l'irrigation ont le droit de percevoir, outre le prix de vente de l'eau, le montant de l'augmentation de l'impôt sur les terres arrosées. après les dix premières années d'arrosage, et cela pendant une période qui peut varier de cinq à dix ans. Cette allocation constitue un secours que l'État apporte à la Compagnie. Le même secours est promis par la loi aux syndicats de propriétaires qui exécutent de semblables travaux. Cette disposition législative n'est favorable ni aux cultivateurs, ni à l'État, ni même au progrès de la culture; le temps pendant lequel la terre irriguée est affranchie de toute augmentation d'impôt est trop court; à ce moment le capital manque en effet aux cultivateurs pour transformer leurs cultures, et il est impossible qu'il augmente lorsqu'on limite les revenus qui doivent le constituer. De même l'article 8 de la loi sur les canaux et réservoirs d'irrigation, du 20 février 1870, accorde aux entreprises le montant de l'augmentation de l'impôt jusqu'à concurrence de 150 francs par hectare arrosé, et pendant trois années encore après que cette limite a été atteinte, à titre d'intérêt pour le capital de premier établissement. La lenteur avec laquelle les entreprises d'arrosage se développent rend ce secours illusoire pour les entreprises; et la brièveté du temps pendant lequel les arrosants sont exempts d'augmentation d'impôt, a les inconvénients déjà indiqués. Les entreprises ruinées sont restées ruinées après cette loi, qui était destinée à leur venir en aide.

La loi de secours aux entreprises de canaux et de réservoirs d'irrigation, promulguée le 27 juillet 1883, s'applique à celles qui fournissent pour l'arrosage un volume d'eau de 200 litres par seconde au moins. Les secours accordés peuvent recevoir les formes suivantes : 1° une subvention, qui ne doit pas excéder 30 pour 100 du montant de l'entreprise, évalué en y comprenant le canal principal, le réservoir et les branches maîtresses de la canalisation; 2° une sorte de prix ou de rémunération, qui ne doit pas dépasser la somme de 250 francs par chaque litre continu d'eau que le canal ou le réservoir emploie pour les arrosages. Le Gouvernement a la faculté de substituer à la subvention une quantité équivalente de travaux d'une exécution difficile, qu'il exécute à ses frais. Les sommes réunies de la subvention et du prix ne doivent d'ailleurs jamais dépasser 40 pour 100 des dépenses de premier établissement, calculées en ajoutant au montant du devis approuvé pour l'ensemble des canaux principaux et des réservoirs. une somme de 100 francs pour chaque hectare de terrain arrosé.

Les syndicats d'arrosants, constitués conformément à la loi de 1879, qui entreprennent de construire des canaux ou des réservoirs, soit pour introduire l'arrosage sur leurs terres, soit pour améliorer les irrigations déjà existantes, quelle que soit d'ailleurs la quantité d'eau à employer, peuvent obtenir la concession du Gouvernement sans être astreints à une adjudication publique; leurs travaux peuvent être subventionnés jusqu'à 50 pour 100 du montant du devis. La subvention doit être, en général, accordée sous forme de travaux exceptionnels, d'une difficulté particulière, qui sont exé-

cutés par l'État. Le Gouvernement est aussi autorisé à prêter d'avance au syndicat jusqu'à concurrence de 50 pour 100 des estimations. Ces prêts produisent un intérêt de 3 pour 100, dont le montant est prélevé sur les propriétaires, d'après un tarif fixé au moment même de l'emprunt.

Le Gouvernement peut aussi faire étudier par ses agents les canaux et les réservoirs destinés aux irrigations; les études une fois faites, et après les enquêtes prescrites par la loi, il peut mettre les travaux en adjudication, ou bien présenter aux Chambres un projet de loi pour s'en charger à son propre compte.

Ces diverses dispositions sont trop récentes pour qu'on puisse les juger équitablement. Elles courent le risque d'être peu applicables en Espagne, car le Trésor public est généralement assez mal rempli, et il reste soumis à toutes les fluctuations des influences de la politique. Les lois espagnoles refusent aux entreprises d'irrigation la garantie d'intérêt par l'État : sans cette garantie, assurée pour un temps suffisamment long, la vie de ces entreprises ne peut être que bien éphémère, même avec les secours prévus par la loi.

La question du progrès dans l'utilisation des eaux fluviales au point de vue agricole ne peut se résoudre que par la conciliation des intérêts des deux parties en présence : d'une part ceux qui fournissent l'eau, de l'autre ceux qui peuvent en tirer profit. Il serait inutile de favoriser les premiers, si on ne venait en même temps en aide aux seconds, par exemple par le crédit agricole ou par tout autre moyen.

Pour conclure, je dirai que l'État, s'il veut encourager les irrigations qui sont du ressort de l'initiative privée, doit se borner à écarter tous les obstacles qui s'opposeraient à la libre action individuelle ; plus cette action sera féconde, moins l'État aura à faire par lui-même, et plus l'agriculture fera de rapides progrès; l'État faciliterait cette action individuelle, en établissant une statistique complète et bien précise des droits d'usage sur les eaux publiques, et en éclairant l'opinion sur les richesses hydrologiques du pays, dont l'étude est hors de la portée des particuliers.

Quant aux grands travaux d'irrigation, tels que les grands canaux et les grands réservoirs, travaux ruineux pour les entreprises particulières, l'intérêt général, les bénéfices directs ou indirects que l'État peut tirer de l'affaire, l'utilité qu'il y a à mettre en valeur les ressources hydrologiques du pays pour développer la richesse nationale, sont autant de raisons qui imposent à l'État l'obligation de prendre ces travaux à sa charge, dans la mesure de ses moyens, et avec la plus grande économie possible. Une fois qu'ils sont terminés, il doit les livrer, à des conditions raisonnables, aux syndicats des arrosants, en s'en réservant toutefois la haute inspection et le contrôle, pour que les sacrifices de la nation ne soient pas exposés à devenir stériles.

Madrid, 21 mai 1889.

DE

L'AVENIR DES CANAUX D'IRRIGATION

PAR

M. Ch. COTARD
Membre du Comité supérieur de l'Agriculture.

DE

L'AVENIR DES CANAUX D'IRRIGATION

RAPPORT

DE

M. Ch. COTARD

Membre du Comité supérieur de l'Agriculture.

Si l'on devait, pour présumer de l'avenir des canaux d'irrigation, s'inspirer de l'état actuel du régime des eaux au point de vue de leur utilisation agricole, de la situation de la plupart des entreprises d'arrosage et des opinions généralement répandues dans nos pays sur ces sortes d'opérations, on serait assurément conduit à des conjectures assez pessimistes.

En ce qui concerne l'utilisation des eaux disponibles, non seulement aucun effort véritable n'a été tenté pour en retenir au moins une partie au profit de la fécondation du sol, mais la plupart des travaux hydrauliques ont eu, tout au contraire, pour conséquence de hâter la fuite de ces eaux dans les rivières et d'en amaigrir les étiages. Or, comme c'est précisément pendant les époques de pénurie que les cultures ont le plus besoin d'être arrosées, les œuvres de canalisation agricole se trouvent limitées à des débits tout à fait insuffisants qui leur sont encore disputés par les usines hydrauliques ou pour les besoins de la navigation.

En considérant, d'autre part, la situation économique et financière des canaux d'irrigation existants, on est frappé des mécomptes subis par la plupart de ces entreprises, comme rémunération des capitaux engagés.

Mais, avant de tirer une conclusion, soit du régime actuel des eaux, soit des résultats obtenus dans les diverses opérations d'arrosage, il convient de rechercher avec soin si les difficultés rencontrées et les mécomptes encourus ne proviennent pas de causes qu'il serait possible de modifier.

Laissant, pour le moment, de côté la question de savoir s'il serait possible d'augmenter les quantités d'eau disponibles, on doit, tout d'abord, examiner pourquoi les entreprises qui sont suffisamment pourvues d'eau n'ont pas toujours réussi aussi bien qu'on pouvait l'espérer.

S'il était prouvé que ces insuccès sont inhérents au principe même de

l'irrigation, il n'y aurait pas lieu de prévoir que de grands efforts fussent à entreprendre pour fournir à l'agriculture des quantités d'eau plus abondantes; l'œuvre des irrigations resterait, dès lors, vraisemblablement limitée aux arrosages actuels ou, pour nos contrées du moins, à quelques travaux relativement restreints.

Il ne semble pas, cependant, qu'il doive en être ainsi, et il importe, avant tout, de se rendre compte de quelle manière ces entreprises ont été conçues, exécutées et administrées.

Un premier fait à signaler, c'est que le coût d'exécution des canaux a presque toujours dépassé les prévisions. On pourrait, en France, en citer plusieurs, parmi ceux exécutés par des syndicats de propriétaires, où les cotisations ont dépassé de plus de moitié les chiffres primitivement prévus et où, pour cause de manque d'eau ou d'une mauvaise répartition de l'eau disponible, un certain nombre des souscripteurs d'origine ont dû continuer à payer leur quote-part des frais d'entretien du canal principal sans pouvoir arroser.

Également, dans les canaux concédés à des Compagnies, le capital prévu pour leur construction s'est généralement trouvé insuffisant; de sorte que l'argent a manqué pour l'exécution du réseau de distribution qui est le complément indispensable de toute entreprise d'arrosage.

On arrive, cependant, à la longue, à pourvoir à la distribution des eaux: mais, là surgit une nouvelle difficulté, c'est que le débit sur lequel ont été établis les calculs de l'opération, se montre généralement insuffisant pour arroser les contenances prévues.

On s'est en effet basé, en général, sur la dotation de un litre par seconde pour un hectare; or, si cette quantité peut suffire dans certains climats, pour certains terrains peu perméables ou qu'un long arrosage a déjà colmatés et pour des prairies qui n'entraînent que de rares remaniements du sol, il en est autrement pour des arrosages plus récents ou pour des cultures exigeant des labours ou tout autre travail de la terre. On en a la preuve par ce fait que, dans tous les périmètres d'irrigation, même dans ceux où l'étendue arrosée est inférieure à celle souscrite ou à celle qui devrait être arrosée à raison de un litre par hectare, la totalité de l'eau disponible est toujours absorbée et qu'il ne s'en écoule aucun surplus à l'extrémité des canaux. On ne saurait objecter que l'eau est gaspillée en route; car, parmi les arrosants, ceux qui se trouvent placés vers les extrémités se plaignent sans cesse; il en est même qui renoncent à irriguer leurs terres, parce que, autant vaut ne pas arroser qu'arroser irrégulièrement. Il est donc vraiment un peu puéril de répéter sans cesse que, dans les canaux, toute l'eau n'est pas utilisée et que les souscriptions se font avec une grande lenteur. Tout au contraire, on ne parvient pas, le plus souvent, à desservir la totalité des souscriptions.

En réalité, chaque arrosant ne prend que ce qu'il lui faut; mais il en prend plus d'un litre, parce que le litre est insuffisant dans la plupart des cas. La pratique tend à établir qu'il convient de compter un litre et demi

en moyenne et deux litres, au moins, pour les terrains perméables qui sont cultivés plusieurs fois dans l'année.

C'est là un premier point qu'il importe de retenir.

Il reste à examiner quelle doit être la limite du coût d'exécution d'une entreprise d'arrosage pour que les capitaux engagés y puissent trouver leur rémunération.

Avec la dotation ci-dessus indiquée de 1 litre 1/2 par hectare, étant entendu d'ailleurs que le réseau de distribution doit être établi de façon à amener l'eau en tête de chaque propriété et par quantités suffisantes, il n'est pas douteux que les arrosants peuvent payer une redevance de 60 à 70 francs par hectare.

Ajoutant à ce chiffre une vingtaine de francs à provenir, en moyenne, de quelques arrosages d'hiver et de fournitures d'eaux continues pour les usages domestiques, on arrive à un produit total de 80 à 90 francs par hectare. Si on en défalque les 15 francs ordinairement comptés pour les dépenses d'entretien, il reste, pour l'opération, un produit net d'environ 70 francs par hectare, c'est-à-dire la rémunération à 5 0/0 d'un capital de 1400 francs.

Il faut donc que le litre et demi distribué ne coûte pas davantage et, si les dépenses d'établissement conduisent à un chiffre supérieur, la seule ressource est de recourir à l'État pour qu'il fournisse le complément.

On a prétendu, il est vrai, que les irrigations ne devaient pas être considérées comme des œuvres d'utilité publique; qu'elles étaient des entreprises privées et purement locales et qu'il appartenait, en conséquence, aux intéressés de les exécuter, par leurs propres moyens, sans avoir à demander aucun concours à l'État. Mais cette opinion qui a été, et est encore, au moins en France, un des principaux obstacles opposés au développement de l'hydraulique agricole, ne saurait être sérieusement soutenue.

Il est admis, en effet, ainsi que cela est formulé dans le compte rendu des travaux de la Commission supérieure pour l'aménagement et l'utilisation des eaux, publié en 1879 par les soins du Ministère des travaux publics :

« Que l'irrigation procure, en moyenne, un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare, déduction faite de toutes charges résultant de l'arrosage; que la plus-value foncière qu'acquiert un terrain mis à l'arrosage peut, en conséquence, être évaluée à environ 4000 francs l'hectare, qu'elle peut même atteindre un chiffre plus élevé pour les terres de mauvaise qualité. »

On peut dès lors calculer approximativement, comme suit, l'augmentation de revenus qui en résulte pour l'État.

La richesse immobilière de la France, évaluée, en capital, à 120 milliards, verse au Trésor, comme droits d'enregistrement, sur les ventes, successions et donations, 230 millions par an, soit, à peu près, 2 millièmes du capital. Une plus-value foncière de 4000 francs donnera donc une recette supplémentaire d'environ 8 francs.

Les autres impôts, déduction faite de différentes taxes étrangères à l'objet dont il s'agit, s'élèvent à 2 milliards frappant 25 à 30 milliards de revenus, soit de un quinzième. On peut donc admettre que les 200 francs d'augmentation de revenu net fourniront encore une perception d'environ 13 francs, qui, ajoutés aux 8 francs provenant des droits de mutation, portent à 21 francs la récupération du Trésor par les diverses sources de l'impôt.

Mais, à ce chiffre ne se bornent pas les avantages généraux résultant d'une telle augmentation de richesse foncière. Il faudrait encore tenir compte de l'accroissement de population fixée sur un sol plus fertile, de la plus grande circulation de produits sur les voies de transport et des conséquences multiples de l'essor de la prospérité agricole.

Ce sera faire une évaluation bien modérée de toutes ces perceptions de supposer qu'elles atteignent au moins 25 francs.

Capitalisant ce revenu au taux de 3 3/4 pour 100, on obtient un chiffre de 660 francs.

Loin donc que l'État doive se désintéresser des entreprises d'irrigation, il est de toute équité qu'il y contribue par des subventions pouvant, sans préjudice pour ses budgets, atteindre le chiffre ci-dessus.

C'est à une conclusion analogue, au moins en ce qui concerne le principe du concours de l'État, qu'arrive notre distingué collègue M. A. de Llaurado, dans son remarqnable discours au Congrès de Barcelone, de 1888.

Il résulte de ce qui précède que l'arrosage d'un hectare rémunérera en chiffres ronds une dépense totale de 2000 francs dont les 2/3 à fournir par

des souscriptions privées, soit.	1350
et 1/3 par l'État, sous forme de subvention, soit.	650
Total égal.	2000

Comme on a vu, d'autre part, que l'arrosage exige en moyenne 1 lit. 1/2 par hectare, la dépense totale par litre distribué se trouve être des 2/3 de 2000 francs ou de 1350 francs.

On peut donc en tirer cette conséquence que, dans toute œuvre d'irrigation bien conçue, le coût total ne doit pas correspondre, par mètre cube de portée d'eau du tronc principal ou par mètre cube dérivé, à un chiffre supérieur à 1 350 000 francs, lequel comprend 1/3 ou 450 000 francs de subvention de l'État et 2/3 ou 900 000 francs de capitaux privés à partie desquels l'État peut accorder, sans risque, une garantie d'intérêt afin de faciliter leur réalisation.

Il est clair que ces chiffres sont des maximums qu'il conviendra, en général, de ne pas atteindre, du moins pour la part des 2/3 incombant aux capitaux privés ; au-dessous de ces limites les conditions de réussite seront évidemment d'autant mieux assurées que la dépense aura été moindre.

Quant à l'État, le mode de concours le plus simple et le plus efficace serait, sans doute, qu'il affectât, pour chaque mètre cube par seconde

livré à l'agriculture, une subvention uniforme, subvention qui pourrait atteindre 450 000 francs, puisque c'est à ce chiffre que s'élèvent ses récupérations, et qu'il laissât, alors, à l'industrie privée le soin de rechercher et d'entreprendre les opérations d'arrosage qui, moyennant cette subvention, se présenteraient comme avantageuses.

En résumé, si beaucoup de canalisations agricoles ont abouti à des insuccès divers, principalement au point de vue financier, c'est qu'elles n'avaient pas été conçues conformément aux bases qui viennent d'être indiquées. Faute d'argent, on n'avait pas pu achever le réseau des canaux de distribution, ou bien, faute d'une quantité d'eau suffisante, on n'avait pas pu arroser toutes les propriétés à desservir.

On reconnaîtra qu'il est possible, par une étude attentive des conditions à remplir, de se mettre à l'abri, dans de nouvelles entreprises, de semblables mécomptes qui, comme on le voit, ne sauraient être mis à la charge de l'œuvre elle-même.

Le développement à prévoir pour les canaux d'irrigation se trouve donc lié à la question de savoir s'il est possible de fournir de l'eau à l'agriculture à un prix qui ne dépasse pas, ou plutôt qui n'atteigne pas le maximum ci-dessus indiqué de 1 300 000 à 1 400 000 francs le mètre cube par seconde.

Les étiages peu à peu épuisés par un défectueux aménagement des eaux offrent à une sérieuse extension des arrosages des disponibilités bien restreintes et bien précaires.

On a parlé de réservoirs à créer soit dans les gorges des montagnes, soit même artificiellement, sur des plateaux au moyen de digues. Cette solution, applicable assurément dans certains cas spéciaux ou dans certains pays, comme la Haute Égypte par exemple et autres contrées, ne saurai convenir aussi bien à des régions très habitées, où le terrain a déjà une assez grande valeur. La couche d'eau à fournir étant, en effet, à raison de 1 1/2 litre par seconde pendant les six mois de la période d'arrosage, d'environ 2 mètres, si on suppose un réservoir d'une profondeur moyenne de 6 mètres, par exemple, chaque hectare de réservoir ne pourra pourvoir qu'à l'irrigation de trois hectares. On voit tout de suite quelle étendue de réservoirs il faudrait créer pour fournir les quantités d'eau nécessaires à des arrosages de quelque importance.

Sans méconnaître assurément les grands services à retirer de la construction de réservoirs partout où il est possible d'en établir sans de trop grands frais et avec une suffisante sécurité, on arrive à cette conclusion que le seul moyen d'augmenter les disponibilités d'eau en faveur de l'agriculture serait de pouvoir remédier à l'appauvrissement continu des étiages et même de chercher à les relever progressivement.

On est amené, ainsi, à envisager dans son ensemble le vaste problème de l'aménagement des eaux de chaque bassin et de chaque territoire, con-

sistant, au rebours de tous les travaux qui ont eu pour conséquence de hâter la fuite des eaux en les faisant couler suivant les plus grandes pentes, à retarder, par des dérivations à larges dimensions et à faibles déclivités, l'écoulement de ces eaux, de façon à en retenir le plus possible pour les arrosages et, aussi, à en faire absorber une partie dans les profondeurs de la terre par les grandes masses perméables qui sont d'immenses réservoirs naturels capables de les emmagasiner. Ainsi, seulement, par cet aménagement des eaux sur les faîtes séparatifs des vallées, on fera renaître les sources taries et on reconstituera peu à peu les débits des rivières qui, dès lors, pourront mieux pourvoir à tous les besoins.

Cette œuvre, immense assurément et de bien longue haleine, mais dont chaque dérivation d'eau, même la plus modeste, sera un des éléments, apparaît comme le but à poursuivre pour remédier à la pénurie actuelle des eaux pendant les époques de sécheresse et comme le véritable moyen d'ouvrir, dans l'avenir, la possibilité d'un large développement des arrosages agricoles.

Il convient toutefois de rappeler que, même dans l'état actuel des choses, il y a encore beaucoup d'eaux disponibles qu'il serait possible d'utiliser pour l'agriculture et que ces opérations d'arrosage ne manqueraient pas de donner les plus heureux résultats si elles étaient conçues dans des conditions convenables. Ce serait le meilleur et le plus sûr acheminement vers des conceptions plus étendues. Aussi est-il grandement à souhaiter que les pouvoirs publics encouragent ces utiles entreprises qui peuvent être le remède le plus efficace aux souffrances actuelles de l'agriculture.

Telles sont les considérations et les conclusions que peut inspirer, du moins en France, l'état actuel des irrigations.

Je dois remercier, ici, M. l'inspecteur général Parandier, et les ingénieurs des Ponts et Chaussées des départements, MM. Pelletreau, Denys, Nicou, Peniguel, Du Boys, Revol, Arnaud, Desroches, Bauer et plusieurs autres, des renseignements qu'ils m'ont obligeamment fournis.

Je remercie également M. Chalvet, de la direction de l'Enregistrement; M. A. de Foville, directeur de la Statistique au ministère des finances; M. Cheysson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. le professeur Daniell Zolla, de leurs utiles indications.

Préoccupé d'avoir à présenter sur cette question si complexe et en réalité si peu connue, non pas seulement des idées personnelles, mais bien plutôt un ensemble de données précises d'où pourrait peut-être se dégager de lui-même un enseignement en tout cas plus autorisé, j'ai cru devoir, dès l'organisation de notre congrès, au mois de février, énumérer dans une sorte de questionnaire tous les points principaux que m'a paru comprendre le sujet que j'avais à traiter.

Voici le texte de cette circulaire :

MONSIEUR,

Appelé à préparer pour le CONGRÈS INTERNATIONAL DE L'UTILISATION DES EAUX qui sera tenu, à Paris, en juillet prochain, à l'occasion de l'EXPOSITION UNIVERSELLE, un rapport sur l'*Avenir des canaux d'irrigation*, je désirerais m'entourer des renseignements les plus autorisés sur l'état de cette question dans les divers pays.

Dans la pensée que vous voudrez bien apprécier tout l'intérêt que présente une telle question pour le développement de l'agriculture, je prends la liberté de faire appel à votre éminent concours, en vous demandant s'il vous serait possible de m'adresser ou de me faire adresser, soit par des personnes ayant autorité en cette matière, soit par le service compétent de l'administration de votre pays ou de votre région, quelques réponses aux questions principales suivantes :

Quels sont, dans votre pays ou dans votre région, les principaux canaux d'irrigation,

Déjà anciens, soit antérieurs à l'année 1850; exécutés depuis cette date ou en cours d'exécution; projetés?

Et, pour chacun d'eux, quels ont été ou sont à prévoir,

Le mode d'exécution, par l'État, par des compagnies privées ou par des associations de propriétaires; le coût d'établissement, avec les dépenses partielles pour la prise d'eau et la branche principale, pour les branches secondaires et pour le réseau de distribution jusqu'aux propriétés à desservir; les concours accordés sous forme de subvention ou de garantie d'intérêt; les frais d'entretien; le revenu net de l'opération pour les capitaux engagés; les plus-values foncières obtenues ou à obtenir; les bénéfices pour les arrosants; les avantages pour l'État; le mode d'alimentation par dérivation de cours d'eau, lac ou réservoir artificiel; la portée d'eau, c'est-à-dire le débit par seconde à la prise; l'étendue du périmètre dominé ou desservi; la longueur des canaux principaux, secondaires et de distribution; la quantité d'eau dévolue à chaque unité de surface et, conséquemment, la surface pouvant être desservie; la surface effectivement arrosée; si celle-ci est moindre que ce qu'elle pourrait être, les causes auxquelles il faut attribuer l'incomplète utilisation ou la défectueuse répartition des eaux disponibles; le prix et le mode de perception des redevances d'arrosage par unité de surface; la durée des engagements à l'arrosage; la progression suivant laquelle, à partir de la mise en eau des canaux, l'irrigation s'est effectivement développée dans le périmètre desservi et le montant total des taxes successivement perçues; si cette progression s'est effectuée lentement, et si, en certains cas, le produit total des redevances à obtenir de la quantité d'eau disponible n'a pas été atteint, même après l'ouverture des canaux, les raisons de ces mécomptes; si l'irrigation est reconnue comme un des moyens les plus puissants de fertilisation du sol et une des sources les plus fécondes de la richesse agricole, les causes de

son peu de développement, de l'insuccès financier de beaucoup de canaux d'arrosage et du délaissement relatif de ces sortes d'entreprises?

Doit-on en rechercher les motifs,

Dans le coût d'établissement des canaux et le prix de revient de l'eau d'irrigation; dans l'insuffisance du concours de l'État qui, pourtant, se récupère de ses sacrifices par les produits indirects résultant des plus-values des territoires irrigués; dans le taux trop élevé des redevances à percevoir pour assurer la rémunération des capitaux engagés; dans la difficulté de perception des redevances; dans la condition, généralement imposée aux propriétaires intéressés, de souscrire d'avance et pour des engagements à long terme; dans la division de la propriété; dans le manque d'un réseau de distribution suffisamment développé pour satisfaire à cette condition essentielle de toute canalisation agricole, qui est de mener les eaux en tête de chaque parcelle à desservir dans toute l'étendue du périmètre irrigable; d'où résulte ce fait, malheureusement trop fréquent, que les eaux sont incomplètement utilisées ou, plutôt, absorbées, dès le début, au détriment de l'entreprise aussi bien que des parcelles éloignées, par les propriétés voisines des seules branches principales construites; dans l'impossibilité, pour les propriétaires éloignés, non desservis, de s'entendre entre eux pour la construction des branches de distribution qui leur seraient nécessaires; dans l'organisation même de la distribution qui n'assure pas toujours, en temps voulu, à chaque arrosant la quantité d'eau dont il aurait besoin; dans les dépenses d'appropriation du sol pour sa mise à l'arrosage; dans l'insuffisante connaissance que peuvent avoir les agriculteurs des avantages de l'irrigation?

Dans les difficultés que peut présenter la création même des canaux d'arrosage par suite,

Du manque d'eau, dans les rivières, pendant les époques où la culture en réclame; de droits antérieurement acquis, sur certains cours d'eau, pour des usines ou autres usages; du privilège qu'accordent certaines législations aux riverains pour l'usage des eaux courantes, alors que celles-ci sont parfois un danger pour eux plutôt qu'un avantage dont ils puissent isolément profiter; de la configuration de la région et de la nature du sol, quand elles ne permettent pas de créer des réservoirs où on en puisse emmagasiner la quantité nécessaire pour les époques de pénurie; d'une étude incomplète du régime des eaux courantes, qui, mieux aménagées, pourraient sans doute suffire à tous les besoins de l'agriculture aussi bien que de la navigation et de l'industrie, et offrir, ainsi, des ressources presque inépuisables de fertilisation, de transport et de mouvement?

Faut-il encore considérer,

Que le prix de revient de l'eau d'irrigation dépend beaucoup du volume dont on a pu disposer, qu'il est, en général, pour chaque canal, d'autant plus élevé que la portée d'eau est plus faible et qu'en conséquence les œuvres de canalisation devraient probablement être conçues autrement et

sur un plan plus vaste que ne peuvent l'être de simples entreprises locales, dont l'organisation initiale est souvent difficile et dont les frais d'établissement sont, relativement, presque toujours trop onéreux ; que ces œuvres, bien qu'elles ne profitent pas seulement aux arrosants, qu'elles concourent à l'amélioration du régime général des eaux et à leur utile aménagement, et qu'elles soient un élément de prospérité générale, n'ont pas obtenu jusqu'à présent, des pouvoirs publics, le concours qu'elles méritent à ces divers titres et qui leur est certainement nécessaire ?

Tels sont les points principaux sur lesquels il semble que pourrait porter un examen comparatif des travaux exécutés ou projetés, des résultats obtenus et des études entreprises, dans différents pays, pour l'utilisation agricole des eaux.

Après l'œuvre immense du perfectionnement et du développement des voies de transport et de communication qui, si elle n'est pas encore partout accomplie, ne peut manquer, maintenant, de se poursuivre et de se compléter, au grand bénéfice de la circulation et de l'échange des produits, ne convient-il pas de se retourner, aujourd'hui, vers l'unique source de toute richesse, vers le sol, pour augmenter sa fécondité et mettre, en même temps, chaque territoire en mesure de lutter plus efficacement dans les nouvelles conditions que lui crée la concurrence d'un marché plus étendu ; et, à cet effet, ne faut-il pas chercher à tirer parti de tous les éléments naturels et notamment des eaux dont on peut disposer ?

Dans la plupart des régions, les pluies ou les rivières fournissent des quantités d'eau suffisantes pour répandre le bienfait des irrigations sur de grandes étendues ; ne peut-on les aménager de telle sorte qu'une partie, au moins, de ces eaux qui, en se précipitant dans les vallées, y forment parfois des crues redoutables, soit utilisée pour les besoins de l'agriculture ?

La science et la pratique peuvent se prêter un mutuel concours pour résoudre cette question et ouvrir, ainsi, un vaste champ à *l'avenir des canaux d'irrigation.*

Sans prétendre à une réponse plus ou moins étendue au questionnaire ci-dessus, ni surtout la demander pour une date déterminée, je me permettrai, cependant, d'indiquer que, pour être utilisable à l'objet qu'elle a spécialement en vue, il serait nécessaire qu'elle me parvînt au plus tard le 1er mai prochain.

En vous remerciant du bienveillant accueil que, j'ose l'espérer, vous voudrez bien réserver à la présente communication,

Je vous prie d'agréer, Monsieur, etc.

J'ai envoyé ce questionnaire dans tous les pays et à toutes les personnes ou Sociétés compétentes auxquelles il m'a été possible de m'adresser.

Le temps était bien court pour avoir des réponses de pays dont quelques-uns sont fort éloignés ; mais, grâce à un empressement des plus gracieux et des plus obligeants pour lequel je témoignerai, ici, une recon-

naissance bien sincère à laquelle le Congrès ne manquera certainement pas de s'associer, j'ai reçu de tous côtés des documents nombreux, même des Indes et de l'Amérique.

L'espace restreint qui est dévolu aux publications des Congrès de cette année ne me permet malheureusement pas de faire une analyse détaillée de ces documents, et je dois me borner à en donner seulement quelques extraits.

États-Unis d'Amérique. — Un des plus importants de ces documents est certainement le rapport élaboré par M. Richard J. Hinton, sous la direction du Commissaire de l'agriculture, à la suite de l'enquête ordonnée par un vote du Sénat du mois d'août 1886, sur les irrigations dans les États-Unis.

Le département de l'agriculture, pour réunir toutes les informations possibles sur les arrosages entrepris, les méthodes employées, les produits obtenus, l'influence sur le climat et autres résultats, s'est adressé, au moyen de lettres et de circulaires, imprimées par centaines, à toutes les personnes compétentes ou intéressées dans la question, principalement dans les territoires de l'Ouest.

Il serait beaucoup trop long de citer toutes les réponses dont plusieurs sont fort étendues; il suffira de constater qu'elles sont unanimes à proclamer les heureux effets du développement des irrigations.

Au sud de la Californie, on compte 69 canaux dérivés de divers cours d'eau; dans l'Idaho se sont formées 65 compagnies d'irrigation; dans le Wyoming il y en a 17. Dans le Nevada, il y avait, en 1884, 570 canaux formant une longueur de 1091 milles et arrosant 81 910 acres. Dans l'Utah, on avait construit, dès l'année 1875, 2 095 milles de canaux principaux, et 4 888 milles de canaux de distribution ayant coûté, en totalité, 2 527 678 dollars qui avaient créé une valeur foncière imposable de plus de vingt millions de dollars, sur une étendue irriguée de 165 000 acres. Depuis, cette étendue s'est doublée.

Au Colorado, la superficie irrigable est divisée en 26 districts à chacun desquels est affectée, par décret, une quantité d'eau déterminée; les quantités ainsi allouées atteignaient, en 1887, pour 12 districts seulement, un débit total de 28 992 pieds cubes par seconde (environ 800 mètres cubes).

On compte généralement qu'un pied cube peut irriguer en moyenne 53 acres, soit 1 lit. 33 par seconde et par hectare.

La longueur totale des canaux est d'environ 1000 milles; d'après les comptes rendus des percepteurs, l'étendue des terres cultivables est évaluée, en 1884, à 3 834 619 acres et celle des terres irriguées à 1 150 386 acres, en augmentation de 170 000 acres sur l'année précédente.

On se propose de créer, en outre, dans les montagnes, de vastes réservoirs pour augmenter les quantités d'eau disponibles.

L'Hon. E. L. Nettleton, ingénieur du Colorado, parle des lois excellentes

qui ont fait intervenir le contrôle de l'État pour la réglementation des eaux dont la priorité appartient aux usages domestiques, puis aux arrosages agricoles et, ensuite, aux usines.

Toutefois, sous ce contrôle de l'État, les concessions d'eau sont faites à des compagnies qui exécutent tous les travaux. Beaucoup d'entre elles sont de puissantes associations qui « opèrent sur une grande échelle et arrivent à des résultats surprenants ». Elles étudient des territoires propices, conçoivent dans leur ensemble le plan des canaux, exécutent le travail et, quand tout est prêt, les colons sont appelés. De cette manière, les canaux d'irrigation font, simultanément avec les chemins de fer, la conquête du pays, « révolutionnant » ainsi le mode de colonisation.

Dans un autre rapport adressé en 1885 au gouvernement de l'Australie, l'Hon. Alfred Deakin, membre du Parlement anglais, président de la commission royale des eaux, fait remarquer que le développement des irrigations aux États-Unis s'est produit principalement dans les quinze dernières années.

On peut apprécier, dit-il, l'immense travail accompli en considérant que la Lombardie ne possède que 4 500 milles de canaux et que les États-Unis ont créé, pendant cette courte période, plus de 12 000 milles de canaux principaux et 120 000 milles de canaux secondaires irriguant une superficie de 2 500 000 acres (un million d'hectares), et qu'ils ont consacré à cette œuvre immense des centaines de millions de dollars. L'Hon. Alfred Deakin ajoute qu'il y a toute raison de penser que cette œuvre n'est encore que « dans son enfance » et que ce qui a été réalisé n'est qu'une promesse de ce qui est destiné à être ultérieurement accompli.

Indes anglaises. — Les renseignements qui suivent sont tirés de l'ouvrage de Robert B. Buckley, sur les travaux d'irrigation dans les Indes et leurs résultats financiers, publié à Londres en 1880 à l'*India Office*, et que m'a fait l'honneur de m'adresser M. le sous-secrétaire d'État du gouvernement des Indes au département des travaux publics, à Calcutta.

En 1878, il avait été dépensé dans les provinces de Madras, de Bombay, du Sind, du Bengale, du Nord-Ouest et du Penjab, 15 562 655 £ ou 400 000 000 de francs pour irriguer 6 136 449 acres ou 2 450 000 hectares.

La consommation d'eau ne dépasse pas sensiblement la moyenne de un demi-litre par seconde et par hectare. Cette consommation relativement faible peut être attribuée à la nature du sol et à l'humidité du climat.

Les travaux ont été exécutés par le gouvernement, qui s'est récupéré de sa dépense au moyen de taxes dont il a frappé les terres arrosées.

L'opération a donné les résultats suivants :

Dépense totale.	15 562 655 £.
Recette totale	1 228 993 £.

à déduire :		
Dépenses d'exploitation. . . .	396 750	
Intérêts à 4 1/2 pour 100 du capital dépensé.	700 319	
	1 097 069.	1 097 069 £.
Excédent ou revenu net.		134 924 £.

Le rapport se résume en disant que les travaux d'irrigation de l'Inde, pris dans leur ensemble, payent ainsi à l'État, par le seul produit des taxes foncières, un revenu moyen de 5,33 pour 100.

Ce résultat est confirmé par le major général Dickens, qui, après avoir cité le discours prononcé à ce sujet par Lord Hartington à la Chambre des communes, en 1880, conclut en disant que les irrigations indiennes rapportent 5 pour 100 de la totalité de ce qu'elles ont coûté, même en y comprenant les dépenses faites pour les travaux inachevés ou abandonnés et qu'il ne saurait être élevé aucun doute sur la grande valeur de ces travaux qui sont une garantie contre la famine et un moyen d'assurer le contentement et la constante prospérité de la population de ce pays.

Si l'on s'en réfère également à un discours prononcé au Congrès des États-Unis par l'Hon. M. Blount, en septembre 1888, à l'occasion de la discussion sur les divers modes d'exécution des canaux, l'étendue des territoires irrigués dans les Indes aurait reçu une grande extension; il évalue, en effet, à 3 000 000 d'acres les irrigations exécutées en trois années.

M. Blount insiste, dans son discours, sur les avantages du système d'exécution aux frais du gouvernement qui, après avoir payé tous les frais d'entretien et de surveillance, tire encore un revenu de 4 1/2 pour 100 de la totalité des capitaux engagés.

Égypte. — Chercher en Égypte quel peut être l'avenir des irrigations, ce serait se demander quel est l'avenir réservé au pays lui-même; car, la pluie faisant complètement défaut, la culture n'existe que dans les parties qui reçoivent des eaux d'inondation ou d'irrigation.

C'est ce qui ressort de toutes les études faites sur l'Égypte, notamment de l'important Mémoire de M. l'ingénieur en chef Barois, secrétaire général au ministère des travaux publics, et d'un ouvrage récent de M. A. Chélu, ingénieur au Caire.

Un grand problème se pose dans ce pays, où un mauvais aménagement des eaux du Nil a réduit la partie cultivable à un territoire de plus en plus restreint et a exposé une population aussi dense que celle de la Belgique aux calamités qui résultent des crues excessives ou insuffisantes.

Il s'agit de créer à la première cataracte et dans la Nubie, en barrant le Nil en plusieurs points, d'immenses réservoirs pouvant emmagasiner une

quantité suffisante des eaux des crues pour régulariser le régime inférieur du Nil, assurer l'arrosage du territoire actuellement cultivé et augmenter son étendue dans une large proportion.

Le gouvernement a déjà reconnu les avantages de ce vaste projet conçu et poursuivi depuis de longues années par M. de la Motte, avec la collaboration de M. Jacquet, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

L'heureuse circonstance qui a amené à la direction des travaux publics l'habile ingénieur Sir Colin Scott Montcrieff, auquel sont dus d'importants travaux de ce genre exécutés dans les Indes, peut faire espérer que ce projet sera prochainement réalisé au grand profit des finances de l'État et de la prospérité de l'Égypte.

Espagne. — Je m'abstiendrai de parler des irrigations d'Espagne, laissant ce soin à notre éminent collègue, M. A. de Llaurado, qui a déjà traité cette question avec tant d'autorité et de compétence dans son ouvrage sur les eaux et rivières et dans divers Congrès.

Russie. — De la Russie je n'ai malheureusement presque pas de renseignements. Les travaux d'irrigation y sont, en effet, fort peu répandus. Il semble cependant qu'ils présenteraient de grands avantages dans les provinces du Midi, où de magnifiques récoltes sont souvent détruites par la sécheresse. Le versant oriental du Caucase, s'il était arrosé, pourrait être aussi fertile que le delta de l'Égypte.

Ainsi que l'a pensé le général Annenkoff, à qui l'on doit la construction si rapide du chemin de fer Transcaspien, il en serait sans doute de même pour les vastes étendues de l'Asie centrale, où des irrigations anciennes donnent déjà la mesure des résultats à obtenir; si les quelques tentatives d'irrigation qu'on a faites, au Caucase, n'ont pas réussi, c'est que les canalisations n'ont pas été pratiquement conçues; celles exécutées par les soins du fils du grand-duc Constantin, aux environs de Tachkend, en s'inspirant des travaux anciens, ont eu, au contraire, le meilleur succès.

Europe centrale. — De cette partie de l'Europe je n'ai, non plus, connaissance d'aucune irrigation de quelque importance. Je dois cependant signaler un intéressant projet de M. J.-V. Podhagsky, qui utiliserait environ 70 mètres cubes par seconde à dériver du Danube, un peu en amont de Vienne, pour arroser la plaine de Marchfeld, et je remercie M. Podhagsky de la communication de son projet qu'il a bien voulu m'envoyer par l'entremise obligeante de M. Hauffe, président de la Société des Ingénieurs de Vienne.

Italie. — Les grands travaux d'irrigation de l'Italie ont été si souvent étudiés que je ne crois pas utile d'en faire ici une description; mais j'ai à remercier de leurs communications M. Giacomo Torricelli et M. l'ingénieur Paladini.

Le travail présenté par M. l'ingénieur Paladini à l'Exposition de Milan en 1881, sous le titre *l'Idrotecnica*, contient les données les plus intéressantes sur les divers points qui nous occupent, notamment sur les difficultés

rencontrées pour la bonne réussite des entreprises, sur l'intérêt général de l'État à favoriser l'ouverture de nouveaux canaux, sur l'augmentation de rendement produite par les arrosages et sur la quantité d'eau nécessaire par hectare. Des calculs ingénieux établissent l'importance du concours que l'État devrait rationnellement apporter pour l'utilisation de chaque mètre cube d'eau affecté à l'irrigation.

A la différence près des chiffres, qui peuvent varier d'un pays à l'autre, et sauf quelques divergences sur certains points, j'ai trouvé dans ce travail si autorisé la confirmation des idées exposées dans la première partie du présent rapport.

Belgique. — Les principaux travaux d'irrigation exécutés en Belgique sont ceux de la Campine, sur lesquels j'ai reçu une note fort détaillée du directeur, M. Th. Lebens, qui me fait cette communication à titre personnel.

La surface irriguée est d'environ 2 000 hectares ; la quantité d'eau est de trois quarts de litre par seconde pendant les trois mois d'été et de 3 litres pendant le reste de l'année.

M. Lebens conclut en insistant sur les avantages que présente l'utilisation des eaux pour l'agriculture, l'hygiène publique, la diminution des inondations et la prospérité générale.

Suisse. — Je dois à la grande obligeance de M. de Morlot, inspecteur fédéral des travaux publics de Suisse, ainsi qu'à M. le professeur Jules Gaudard, de l'Académie de Lausanne, et à M. Louis Gonin, d'intéressants renseignements sur les travaux d'irrigation en Suisse.

Parmi les documents qui m'ont été envoyés, je dois citer la notice de M. Émile Cuénod sur les irrigations du Valais, travaux peu connus, mais qui n'en méritent pas moins, dit l'auteur, d'être appréciés comme le fruit de la persévérance, parfois héroïque, de ces populations montagnardes, réduites à lutter avec leurs seules ressources contre les difficultés du climat et celles d'un sol aride et ingrat.

Sur cet étroit territoire, il semble que tous les obstacles naturels se soient réunis pour rendre l'œuvre de l'homme plus ardue ; mais les enseignements à en tirer n'en sont que plus grands ; tremblements de terre, avalanches, ruptures de digues, débordements et ravages des torrents, températures excessives et brusquement variables, par suite de l'altitude et de l'énorme étendue des glaciers qui couvrent, dans ce canton, plus de 1000 kilomètres carrés, froid extrême en hiver et chaleur tropicale sur le flanc des montagnes et dans les plaines pendant les quatre mois d'été, où, parfois, il ne tombe pas une goutte d'eau.

Il est hors de doute, dit M. Cuénod, que si les habitants du Valais étaient restés inactifs, leurs Alpes seraient réduites au même état que les montagnes de la Dalmatie et du Monténégro, qui offrent le triste aspect d'un désert dénué d'arbres et de toute végétation. C'est pour échapper à une semblable calamité et pour lutter contre la sécheresse du climat qu'ont été

créés les canaux d'irrigation, suspendus aux flancs des montagnes, qui portent dans le pays le nom de *bisses*.

L'établissement de ces bisses, dit encore M. Cuénod, mérite d'être considéré comme une entreprise audacieuse quand on sait que leurs prises d'eau se trouvent à plus de 2400 mètres d'altitude, presque au pied des glaciers, et que leur exécution a été entravée par des chutes de pierres, des parois de rocs en saillie et en surplomb, des moraines, des gorges à pic, des glissements de terrain et mille autres obstacles, travail que de hardis ouvriers n'ont pu exécuter souvent qu'au péril de leur vie, en se suspendant par de longues cordes au-dessus des précipices. Ces canalisations ont une longueur totale de plus de 1500 kilomètres, et on peut dire que la majeure partie de la population du Valais leur doit ses principaux moyens d'existence.

Quand on se représente les difficultés de tels travaux, on envisage avec plus de confiance l'avenir qui peut être réservé à des œuvres analogues dans d'autres régions.

De cet exposé sommaire des travaux entrepris dans divers pays, il semble permis de conclure que, loin de désespérer de l'avenir des canaux d'irrigation, il convient de regarder comme une nécessité d'en poursuivre résolument le développement.

Pendant que notre vieille Europe s'endort dans le souvenir de son passé et qu'elle se borne à élever de fragiles barrières contre la concurrence des autres pays, ceux-ci la gagnent de vitesse, notamment dans l'accroissement de production qu'ils obtiennent de leur sol en tirant un meilleur parti des eaux qui sont l'élément indispensable et le plus fécond de toute amélioration agricole.

En présence des énormes efforts qui se font dans cette voie aux Etats-Unis, et des résultats obtenus, on ne peut que constater avec tristesse l'inertie impuissante et funeste dans laquelle s'oublie notre pays.

Je ne saurais mieux terminer ce rapide exposé qu'en citant textuellement le passage suivant du rapport déjà mentionné de l'Hon. Alfred Deakin, qui peint sous des couleurs si vives la transformation qu'amène, dans les vastes territoires de l'ouest de l'Amérique, le bienfait des irrigations.

« Les vastes contrées situées du nord au sud-ouest du Kansas et du Colorado sont tellement arides et désolées en toute saison, qu'il semblerait impossible qu'une créature vivante puisse y subsister. Le désert sans limites, nu et aveuglant dans sa stérilité étincelante et enflammée, s'étend au loin avec ses effets de mirage dans l'horizon monotone. Le sol est si poudreux qu'il forme un lourd nuage sur la trace du cavalier solitaire, ou se soulève en tourbillons sous le brûlant soleil d'été. Ailleurs, ces surfaces pierreuses et sablonneuses se crevassent de fissures profondes. Il n'y a aucune herbe; pour toute végétation, quelques broussailles d'appa-

rence desséchée, des cactus altérés ou une variété de palmiers épineux et rabougris. Tels sont les déserts de Mapini dans le Mexique, de Maricopa dans l'Arizona, ou de Mojave en Californie, et tels ils resteront, tant qu'ils ne recevront point d'eau.

« Et cependant, au milieu de ces vastes étendues condamnées par la nature à la solitude, commencent à apparaître des oasis créées et entretenues par l'intelligence et l'industrie de l'homme; une ligne verdoyante rompant agréablement la monotonie de la plaine indique le cours sinueux d'un canal; bientôt, cette ligne s'élargit en une vaste plantation parsemée d'habitations et de jardins ornés de fleurs; des champs bordés d'arbres offrent aux yeux l'éclat de leurs vertes prairies sur lesquelles paissent des troupeaux; la campagne est couverte de blés ondoyants; on y voit des groupes d'orangers et des vignes grimpantes. Au centre, est une ville naissante, active et populeuse, qui alimente déjà la station de la voie ferrée. Quand le voyageur reprend sa route, les maisons et la verdure s'évanouissent et il se retrouve tout à coup dans le morne désert. C'est ainsi que l'œil est témoin des résultats des irrigations dans le Sud; dans le Nord, bien que d'une façon moins frappante, la leçon est la même. Partout, les canaux, à mesure qu'ils s'étendent, entraînent avec eux le mouvement et la prospérité; le village indien, le pueblo mexicain, la ville américaine, tous se groupent autour du cours d'eau qui se crée et qui, dans ces régions altérées, s'avance d'une marche triomphale. C'est là, en vérité, l'*eau de la vie*, l'eau qui transforme sur son chemin le désert et la terre aride en pays habités et en campagnes florissantes. »

Restons sous l'impression de cette éloquente peinture des déserts conquis par le bienfait des arrosages et disons seulement, sous forme de conclusion, que, s'il est difficile de prévoir quel sera, dans chaque pays, l'*avenir des canaux d'irrigation*, il est, du moins, permis de penser que la prospérité de la plupart des territoires sera attachée à l'utilisation de plus en plus complète des eaux dont ils disposent et au développement de cette œuvre féconde.

Paris, 1er juin 1889.

DE

L'USAGE DES EAUX DE RIVIÈRE

POUR LES DISTRIBUTIONS D'EAU

PAR

M. W. H. LINDLEY

Membre de l'Institut des ingénieurs civils, et de la société de Géologie (Angleterre), ingénieur en chef des travaux municipaux de Francfort-sur-le-Mein.

DE

L'USAGE DES EAUX DE RIVIÈRE

POUR LES DISTRIBUTIONS D'EAU

RAPPORT

DE

M. W. H. LINDLEY

Membre de l'Institut des ingénieurs civils, et de la société de Géologie (Angleterre), ingénieur en chef des travaux municipaux de Francfort-sur-le-Mein.

Rôle des cours d'eau. — Au point de vue où l'on se place dans le présent rapport, les fleuves et les cours d'eau jouent un double rôle :

D'une part ils *arrosent* les terrains qu'ils traversent;

D'autre part ils *drainent* ces mêmes terrains.

Ce dernier rôle ne peut en aucune façon être considéré comme de second ordre; bien au contraire il est très important, comme il est facile de le reconnaître à la moindre interruption qui se produit dans l'écoulement.

Or le drainage, même de terres labourables, entraîne des matières qui rendent l'eau impure au point de vue de l'*alimentation*, et la contamination devient incontestablement grave lorsque le drainage s'applique à des villes et à des établissements industriels.

Moyen d'avoir des eaux pures. — Quels que soient les procédés qu'on emploie pour atténuer ou empêcher cette contamination, il est bien certain que le meilleur et le plus sûr moyen de recueillir à l'état utilisable pour l'alimentation des villes les eaux de superficie qui s'écoulent par les cours d'eau et les fleuves, est de les *capter avant qu'elles ne soient sorties de leur région de précipitation, qu'elles n'aient traversé des villes ou des villages, et qu'elles n'aient été exposées à toutes les causes de pollution.*

Eau de source naturelle. — L'exploitation idéale de l'eau météorique consiste naturellement à capter et à dériver les eaux qui ont pénétré le sol et qui y prennent leur écoulement par des voies souterraines.

Aussi les eaux souterraines, aux points où elles réapparaissent à la surface sous forme de sources, ont-elles, depuis les temps les plus recu-

lés, fourni tout d'abord aux villes l'eau dont elles avaient besoin.

Au point de vue de *la qualité et de la pureté* ce genre d'approvisionnement se place en première ligne; mais, au point de vue de *la quantité et d'un approvisionnement toujours assuré*, il n'est malheureusement guère souvent en rapport avec les besoins d'une population un peu considérable; on ne trouve que rarement des sources naturelles capables d'alimenter une grande ville.

D'un autre côté, comme l'époque du *débit minimum* d'une source naturelle correspond en général à celle du *besoin maximum d'automne*, cette coïncidence fâcheuse augmente encore les conditions défavorables sous le rapport de la quantité.

On peut citer un grand nombre de villes où des services d'eau, basés uniquement sur le rendement de sources naturelles, n'ont répondu ni aux prévisions ni aux besoins, et où on a été finalement obligé d'avoir recours à d'autres moyens pour combler le déficit.

Eau de source souterraine. — Mais l'eau qui, par suite d'une disposition particulière des couches du sol, reparaît à la surface sous forme de source naturelle, ne constitue qu'une faible partie de la masse entière d'eau souterraine qui s'y meut et qu'on appelle eau profonde ou nappe.

Tandis que, par suite du manque d'homogénéité des couches du sol et de la présence de couches imperméables, l'eau de source parvient dans certains cas à la surface, dans d'autres, des couches puissantes, homogènes et perméables, offrent à l'eau une voie d'écoulement continu au-dessous du sol, en même temps qu'elles s'en imprégnent et forment d'immenses réservoirs ou de puissants cours d'eau souterrains. Cette eau, comme qualité et comme origine, est identique à l'eau de source qui vient naturellement à la surface. Ce n'est que l'absence des conditions géologiques favorables à son apparition à la surface comme eau de source naturelle qui rend nécessaire sa captation au moyen de puits ou de galeries.

La reconnaissance et la découverte des nappes souterraines est une condition du développement ultérieur des distributions d'eau, et l'attention est forcément appelée sur ces réserves d'eau lorsque l'on ne dispose pas d'eaux de sources naturelles en quantité suffisante.

L'eau souterraine comme *qualité* est identique à celle qui vient à la surface à l'état de source, à moins qu'elle ne soit contaminée artificiellement par la présence d'éléments étrangers, mais les conditions, en ce qui concerne la *quantité*, sont plus favorables.

Les couches poreuses étendues qui sont imbibées d'eau forment en général sous terre un grand réservoir de compensation. La quantité qui peut en être retirée au moment de la plus forte consommation est indépendante de la quantité qui afflue en même temps dans le réservoir : en raison de la grande étendue des nappes souterraines, un faible abaissement du plan d'eau suffit pour que le volume qui s'est accumulé pendant la saison pluvieuse puisse être utilisé au moment des plus fortes consommations.

Beaucoup de grandes villes puisent ainsi leur approvisionnement d'eau à des sources artificielles provenant de ces nappes souterraines et se sont assuré de cette façon une alimentation qui se maintiendra constante, tant que la quantité puisée ne dépassera pas le taux de l'approvisionnement naturel du réservoir souterrain, et qu'on évitera de provoquer un abaissement croissant du niveau de la nappe liquide, en un mot tant qu'on se contentera de vivre des intérêts se renouvelant constamment sans entamer le capital.

Mais il est difficile, dans les études préliminaires comme dans les premières années d'exploitation, de déterminer la quantité qu'il est possible de puiser sans diminuer progressivement la provision d'eau souterraine.

Par suite de l'étendue généralement considérable de la nappe liquide souterraine dont on provoque l'abaissement de niveau, il est possible qu'un léger abaissement puisse donner un volume suffisant par lui-même pour assurer l'alimentation d'une ville pendant des mois et même des années. Il peut dès lors se passer des années avant que cet abaissement de niveau devienne permanent et qu'il soit possible de reconnaître quelle part de l'approvisionnement souterrain a été ainsi entamée. C'est ce qui explique comment les espérances fondées sur certains services d'eau dans les premières années ont été trouvées exagérées plus tard.

Relativement à la qualité, ces sortes de sources artificielles sont exposées à bien des dangers. L'abaissement du niveau provoque naturellement un appel de tous les côtés. Cet appel peut amener des impuretés et en amène sûrement si l'on se trouve dans le voisinage immédiat de villes et si l'abaissement du niveau est assez considérable pour déterminer l'afflux de l'eau provenant du sous-sol de ces villes.

De même la nature du terrain peut être telle que l'eau qu'on lui soutire soit inutilisable. Ici je fais allusion aux eaux souterraines des rives du lac Tegel captées pour la distribution d'eau de la ville de Berlin, et qui, par suite d'une action chimique ultérieure, sont devenues tout à fait impropres à la consommation.

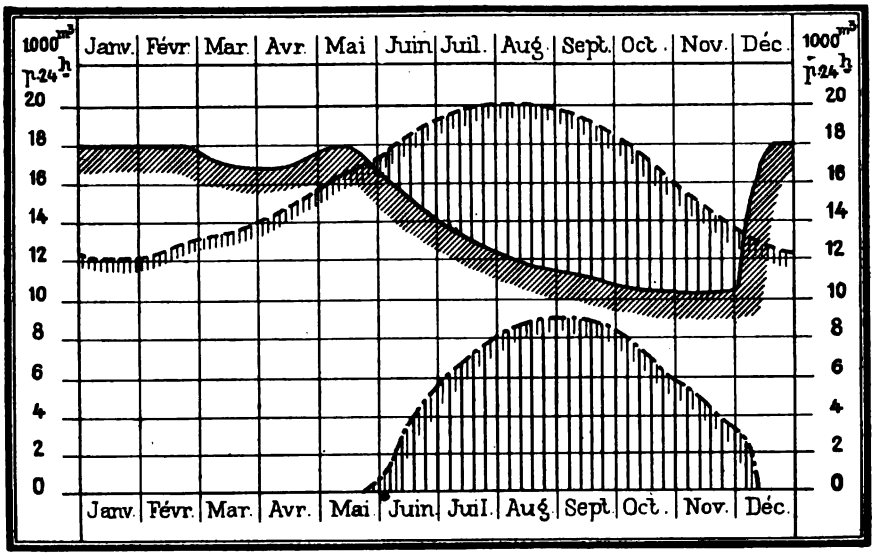
Des circonstances de ce genre dictent la prudence dans le choix des solutions et dans les promesses qu'on croit pouvoir en tirer.

Lorsque l'emplacement de la prise d'eau a été convenablement choisi, que le débit est équilibré par un apport constant, l'installation remplit son but de la façon la plus satisfaisante.

Comme modèle de ce genre d'installation on peut citer la distribution de la ville de Dresde (due à l'ingénieur Salbach) qu'alimentent les eaux souterraines coulant vers l'Elbe à travers des bancs de gravier, captées avant leur débouché dans le fleuve et dérivées vers la ville; cette distribution fournit 25 000 mètres cubes d'eau par jour. De même, pour l'usine des eaux à Cologne (Hegener), et aussi à Dusseldorf (W. Lindley) ainsi qu'à Elberfeld et à Bonn (Schneider) où l'alimentation est, pour la plus grande partie, basée sur l'application du même système.

Alimentation combinée d'eau de source naturelle et d'eau de source artificielle. — L'idéal d'une alimentation d'eau, comme qualité et comme quantité, serait celle qu'on constituerait d'un ensemble de sources naturelles et artificielles, de telle façon que les sources naturelles soient utilisées régulièrement et qu'on n'ait recours aux sources artificielles provenant du grand réservoir souterrain que pour combler le déficit des autres en temps de sécheresse.

La ville de Francfort-sur-le-Mein possède un service de ce genre, et la façon dont les deux installations se complètent est représentée dans la figure suivante :



ig — Représentation graphique DE LA CONSOMMATION D'EAU DE LA VILLE DE FRANCFORT-SUR-LE-MEIN, et de son alimentation par des *sources naturelles vives complétées par des sources artificielles.*

La ligne ponctuée, qui s'élève de 12 000 mètres cubes en hiver à 20 000 mètres cubes en été, indique la consommation, la ligne pleine indique la quantité fournie par les sources naturelles et la ligne inférieure formée de traits et de points représente la quantité fournie par les sources artificielles pour combler le déficit.

L'alimentation au moyen de sources artificielles dépend aussi de conditions locales favorables, qui ne se rencontrent pas partout, et on ne t rouve que rarement dans le sol des nappes liquides assez étendues et assez puissantes pour satisfaire d'une manière permanente aux besoins de véritables grandes villes.

Captation de l'eau des cours d'eau de montagnes. — Les observations qui ont servi d'introduction à ce travail ont fait pressentir que, lorsque les sources vives ou les sources artificielles tarissent ou ne fournissent pas la quantité d'eau suffisante, le procédé auquel il convient d'avoir recours

consiste dans la captation et l'emmagasinage des eaux provenant des cours d'eau superficiels des montagnes. Les frais en sont souvent considérables; mais, comme qualité et comme quantité, le résultat qu'on obtient est satisfaisant.

Il est à propos de capter les eaux de montagnes avant qu'elles ne se soient chargées des matières provenant des terrains de la vallée ou des déjections des villes, dont il est coûteux et difficile, sinon impossible, de les débarrasser. Il convient aussi de les dériver à une altitude suffisante pour qu'on puisse les amener par la gravité sans être obligé d'avoir recours à l'élévation mécanique toujours dispendieuse.

Il est vrai de dire que les montagnes et les vallées, propres à la captation et à l'emmagasinage des eaux en réservoirs, ne se trouvent pas partout et sont souvent très éloignées des centres qu'il s'agit d'alimenter.

L'alimentation d'eau devient de plus en plus une question capitale pour la population et pour l'industrie, et les quantités demandées sont si importantes que les travaux d'art pour les amener de grandes distances (200 kilomètres et au delà) nécessitent de grands frais, lesquels ne représentent cependant qu'une fraction du prix que l'on paie généralement dans les villes pour la fourniture de l'eau aux habitants.

De *grandes* quantités d'eau peuvent être transportées fort loin à très bon compte; ainsi le transport de 100 000 mètres cubes par jour en tuyaux de fonte peut être effectué à une distance *trois fois plus grande* au même prix par mètre cube que celui de 10 000 mètres cubes par jour. Pour une distance de 200 kilomètres le prix est de 5 centimes par mètre cube, tandis que le prix de l'eau fournie dans les villes varie de 6 à 30 centimes, et la moyenne générale oscille entre 10 et 20 centimes.

Précisément parce qu'il n'existe que peu d'endroits favorables à la captation et à l'emmagasinage des eaux de montagnes, l'importance de l'étude de cette question s'impose à la législature. On pourrait considérer sinon l'intérêt de villes isolées, du moins celui d'un ensemble de villes, et choisir certaines régions pour en réserver les eaux météoriques à l'alimentation de provinces déterminées.

La nécessité qui désormais s'impose de prendre des mesures pour satisfaire aux besoins d'eau des populations devrait fournir l'occasion de parer aux difficultés et de diminuer les frais éventuels des travaux qu'il y aura à entreprendre.

C'est un fait bien connu que la plus grande part des frais de ce genre d'entreprises provient des indemnités à accorder à des industriels qui se sont établis le long des cours d'eau et qu'on est obligé de supprimer ou de limiter plus ou moins dans leurs exploitations. Ce serait une mesure profitable que d'interdire l'établissement de ces industries en certains endroits et de les reléguer dans d'autres, où elles pourraient s'établir d'une façon permanente à leur propre avantage et sans devenir une gêne pour la communauté.

Il n'y a pas de doute que les eaux de montagne ainsi captées, après avoir été soumises au besoin à un filtrage préalable, ne puissent, au point de vue hygiénique, approcher beaucoup de la valeur des eaux de source, et satisfaire comme quantité à tous les besoins.

Comparaison entre l'alimentation par eaux de source et par eaux de montagne. — Les trois méthodes d'utilisation des eaux tombées à la surface du sol doivent être, eu égard à la qualité, rangées dans l'ordre donné plus haut; au point de vue de la quantité il faut les ranger en ordre inverse.

Ce sont ces trois méthodes d'utilisation des cours d'eau pour l'alimentation urbaine qui viennent en première ligne, et on ne doit les abandonner que lorsqu'on les a reconnues insuffisantes, d'exécution impossible, ou qu'on est obligé de les repousser pour d'autres raisons. Bien qu'il soit démontré qu'on peut amener de grandes masses d'eau de très loin sans frais extraordinaires, il peut se présenter de nombreux cas où l'exploitation de ces eaux par une des méthodes en question serait absolument impossible ou inexécutable pour le moment. Dans ces cas c'est au cours d'eau le plus proche qu'on doit avoir recours; et il doit être considéré comme la conduite la plus naturelle et la plus utile pour y puiser l'eau nécessaire, à l'endroit le plus convenable dans le voisinage de la ville.

Alimentation par eaux de vallées et de cours d'eau. — Si plus haut d'autres méthodes ont été préconisées, comme étant celles auxquelles on devait tout d'abord recourir, il n'est pas dit qu'on ne puisse pas trouver dans les vallées plus en aval d'autres cours d'eau exploitables remplissant toutes les conditions demandées, et dont les eaux bien filtrées présenteraient toutes les conditions hygiéniques voulues.

Leurs avantages et leurs inconvénients. — L'auteur de ce travail, en s'appuyant sur sa propre expérience, croit pouvoir affirmer que les préjugés contre l'usage des eaux fluviales ont été poussés trop loin. Beaucoup de villes où tout ce que l'hygiène peut exiger aurait pu être obtenu avec une alimentation suffisante d'eau de rivière ont été forcées, par suite des préjugés contre cette eau, de souffrir pendant des années et des dizaines d'années même, les maux inséparables de l'absence d'un service régulier, ou d'un service insuffisant des eaux.

Il est indiscutable que les inconvénients qui surviennent dans les grandes villes, au point de vue de salubrité, lorsque durant les chaleurs l'eau manque entièrement ou n'est fournie qu'en quantité insuffisante, sont réels et bien plus funestes que les influences non encore bien démontrées provenant de légères différences dans la qualité des eaux.

Donc, lorsqu'on ne peut se procurer de l'eau de source naturelle ou artificielle et que l'eau des montagnes ne peut être amenée qu'au moyen de dépenses hors de toute proportion avec le résultat cherché, et qu'il se trouve à portée un fleuve dont l'eau est assez pure pour la consommation il faut y puiser sans la moindre hésitation.

Il est à remarquer qu'il y a beaucoup de services d'eau de rivière bien préférables comme qualité à d'autres services d'eaux de source artificielles, où l'on avait puisé aux nappes liquides souterraines après beaucoup de peines et de dépenses. A ce propos, on peut comparer la qualité de l'eau fournie après filtrage par le service des eaux à Berlin et qui provient des lacs du Havel, avec celle qu'on puisait jadis dans la nappe liquide souterraine du Tegel, service qu'on a dû abandonner après les calamités qu'il avait causées dans la ville. On peut de même comparer le service des eaux à Varsovie qui fournit de l'eau filtrée de la Vistule, avec celui de la ville de Halle, à eaux de source artificielle, et encore avec le service « Kaiser Ferdinand » d'eau de source artificielle à Vienne, en Autriche, et qui est maintenant abandonné.

Dans l'appréciation vulgaire de la qualité des eaux la *température* joue un rôle important.

Il est de fait que l'eau de source est généralement plus fraîche, et qu'une basse température avec une certaine richesse en acide carbonique est défavorable à la propagation des germes. Mais c'est surtout l'agrément de l'eau fraîche comme boisson qui motive cette appréciation favorable.

Il est vrai qu'en été l'eau de rivière à l'endroit où elle est puisée est plus chaude que l'eau de source à son point de captation; mais, lorsque l'eau de rivière est parvenue en ville, elle a passé par de longues conduites en fonte où elle s'est refroidie ainsi que dans les réservoirs souterrains, tandis que l'eau de source a perdu de sa fraîcheur. La différence de température n'est plus aussi grande qu'on le pense généralement, et n'est certes pas de nature à faire préférer un service insuffisant d'eau de source à un service intarissable d'eau de rivière.

Cette qualité d'être *inépuisables* en *quantité* donne une grande valeur aux services d'eau de rivière, qu'on a l'habitude de trop négliger en cherchant l'*idéal* en *qualité*; cependant le manque d'eau est une faute, qui au point de vue sanitaire pèse davantage que quelques légères différences dans la qualité des eaux.

Que l'on examine aujourd'hui les services d'eaux des grandes villes où l'on se plaint : rarement des plaintes sont formulées au sujet de la *qualité*; mais le plus souvent elles le sont à cause du manque d'eau, partiel ou complet.

Ce n'est que dans les villes où cette précieuse source d'alimentation manque que l'on peut justement apprécier la valeur du voisinage d'un fleuve où coule en abondance l'eau propre à la consommation.

Comparaison de l'alimentation par eaux de montagne et par eaux de vallées. — Tandis que les trois méthodes d'alimentation dont il a été d'abord question sont les meilleures au point de vue de la qualité, l'eau de rivière bien choisie peut répondre à toutes les exigences de l'hygiène et jouit du grand avantage d'être inépuisable.

Alimentation mixte. — Il convient maintenant d'ajouter quelques mots sur le système d'alimentation appelé « *service mixte* ».

Dans les endroits où l'on ne dispose que d'une quantité restreinte de bonne eau de source, on est naturellement porté à ne l'employer que pour la boisson et la cuisine, et à se servir d'une eau moins bonne pour les autres usages.

Un service d'eau potable avec fontaines dans les rues, complété par une fourniture dans les maisons d'une eau moins bonne pour l'usage général, présente des dangers.

L'attention peut être distraite, on perd de vue l'infériorité de l'eau destinée à l'usage général, et les inconvénients qui peuvent en résulter dépassent de beaucoup les prétendus avantages de ce système.

De même un double système de conduites, apportant dans les maisons l'eau potable et l'eau ménagère séparées, présente les mêmes inconvénients, sans compter l'installation compliquée des conduites doubles et les frais considérables nécessaires pour ces travaux.

Ce genre d'installation ne se propose que dans les endroits où les sources disponibles ne fournissent que la quantité d'*eau potable* strictement nécessaire ; dans ce cas le moindre gaspillage épuise l'eau de source et l'on est obligé d'employer l'eau ménagère pour des besoins pour lesquels elle est impropre.

On peut donc établir comme maxime qu'*un bon service d'eau doit amener dans les maisons la quantité totale d'eau nécessaire à tous les besoins domestiques, d'une qualité répondant à toutes les exigences sanitaires et en quantité suffisante.*

Mais, d'un autre côté, les usages qui augmentent les besoins d'eau en été, tels que l'arrosage des rues, le nettoyage, les fontaines publiques, le curage des égouts, etc., pour lesquels une eau de moindre qualité suffit, peuvent très bien se servir d'autres eaux.

Pour cela il faut un réseau de conduites à grandes mailles, ne passant que dans les endroits utiles. Ce système est à recommander pour les villes où la quantité d'eau de source peut suffire à tous les *besoins domestiques* mais non à ceux *de la voirie*, de façon à réserver l'eau potable exclusivement aux usages pour lesquels ses qualités lui donnent de la valeur.

Une installation de ce genre peut de même être souvent motivée par des considérations purement financières. Tout service d'eau doit répondre à la consommation maxima de l'été. Or, en éliminant, du chiffre de l'alimentation générale, les facteurs qui ne contribuent qu'à hausser d'une manière exceptionnelle la consommation maxima en été, on assure une utilisation plus régulière et meilleure des capitaux considérables engagés dans les installations si coûteuses des conduites d'eau de source et des appareils de filtrage, et on atteint le même résultat par des travaux plus simples, et qui, n'exigeant pas de longues conduites ni d'appareils de filtrage, reviennent à meilleur compte, et n'obèrent pas l'opération de lourdes charges d'intérêts.

Dans ce cas, on peut quelquefois utiliser d'anciens travaux et réduire ainsi les dépenses.

Une semblable installation existe par exemple à Francfort et fournit, au moment où la consommation maxima en été atteint 28 000 mètres cubes par jour, 6 000 mètres cubes d'eau non filtrée pour l'arrosage des rues et des jardins, ainsi que pour le lavage et le nettoyage de la ville, et épargne ainsi au service si coûteux de l'eau de source l'obligation de subvenir aux besoins supplémentaires de cette saison.

Puisage de l'eau dans les fleuves. — Lorsqu'un fleuve a été choisi dans son cours inférieur pour servir à l'alimentation, le choix du point où se fera la prise peut encore être très important, à divers points de vue, pour assurer la plus grande pureté d'eau possible.

Considération de la pureté. — En reportant la prise au loin en amont, et quelquefois même en abrégeant la longueur des conduites, on peut souvent éviter des affluents ou des établissements industriels nuisibles. Sous ce rapport une économie mal entendue a souvent entraîné des résultats funestes. Les tunnels en maçonnerie exécutés par le service des eaux de Chicago, dans les profondeurs du lac, et qui ont chacun plus de trois kilomètres de longueur, sont des exemples en grand des soins qu'il faut prendre pour assurer la pureté de l'eau captée dans un grand lac.

Dans un fleuve l'eau doit être puisée assez loin des bords, pour éviter le contact du courant moins pur qui longe les rives.

Il faut étudier les conditions particulières du cours du fleuve, très loin au-dessus de la prise; ainsi, par exemple, les grands fleuves ont souvent des eaux de qualités totalement différentes sur les deux rives, selon la nature du sol dans les bassins des affluents d'un côté ou de l'autre en amont, affluents dont les eaux peuvent couler le long du fleuve principal sur des distances très considérables sans jamais se confondre avec les siennes. L'une de ces eaux peut être meilleure au point de vue hygiénique et mécaniquement plus pure que l'autre, et par suite plus facile à clarifier et à moins de frais.

Considération de la sûreté de l'alimentation. — A côté de ces *considérations qualitatives* il convient de s'occuper en première ligne d'avoir une *alimentation assurée.* La condition la plus favorable est un chenal profond résultant de l'action du courant dans une concavité de la rive : lorsque l'état du fleuve ne paraît pas stable il faut consolider la rive par des travaux de régularisation.

Le choix du point de puisage de l'eau est d'une telle importance que les autres travaux d'installation lui sont souvent subordonnés.

Ce choix est très difficile sur des fleuves non régularisés; comme exemple on peut citer la Vistule près de Varsovie; ce fleuve entraîne des masses énormes de sable et change son lit avec une étonnante rapidité. Il a suffi parfois d'une seule crue de quelques jours pour ensabler complètement un chenal profond creusé par le courant sur l'une des rives, et forme

sur l'autre, éloignée de 800 mètres, un nouveau chenal de 28 pieds de profondeur. Le fleuve a dû être régularisé sur un parcours de 7 kilomètres afin d'assurer la stabilité de la rive concave au point de puisage; et on a été obligé de construire le bâtiment des pompes en un point de la rive élevé au-dessus du niveau des crues pour le mettre à l'abri du danger d'être détruit par les caprices du fleuve. Ce bâtiment a été relié au point de puisage par un tuyau d'aspiration de 800 mètres de long, dont l'extrémité plonge dans le fleuve à une grande distance de la rive.

Dans les pays froids la prise comporte des aménagements spéciaux pour assurer son fonctionnement en hiver. La plus grande difficulté est l'obstruction par la glace (*Grundeis*). L'eau coulant à la surface du fleuve reste encore liquide à des températures de plusieurs degrés au-dessous de zéro. Lorsque les molécules d'eau ainsi extraordinairement refroidies viennent dans leur mouvement à rencontrer le fond, elles perdent la vitesse qui les avait maintenues à l'état liquide et se congèlent. Les grillages, les treillis et autres aménagements de ce genre s'obstruent au bout de quelques minutes. Le meilleur moyen de puiser de l'eau dont la température est au-dessous de zéro, est de la faire arriver et séjourner à l'état de repos absolu pendant peu de temps dans un bassin. Par un procédé qui est l'inverse de celui de la précipitation, les molécules froides se détachent à l'état d'aiguilles cristallines et montent à la surface pour y former une couche de glace, au-dessous de laquelle on peut puiser l'eau restée liquide au fond du bassin.

Considérations sur l'exploitation. — Dans les fleuves qui entraînent beaucoup de matières en suspension, on doit choisir le lieu de puisage et l'aménager de façon que l'eau puisée soit autant que possible débarrassée de ces matières. Quelquefois on peut utiliser d'anciens bras du fleuve comme bassins de dépôt, où l'eau subit une première clarification ; mais ce moyen présente des dangers de contamination et la qualité de l'eau peut en souffrir. Ces moyens accessoires peuvent être *utiles* au moment des crues ; mais il est toujours plus sûr de puiser l'eau directement dans le courant, les matières en suspension sont faciles à enlever de l'eau, tandis qu'il est impossible de purifier l'eau après qu'elle a été contaminée par la stagnation.

Dans les fleuves qui entraînent du sable, une grande partie de la masse en mouvement constitue sur le fond un véritable courant de sable ; il faut établir la prise de manière que ce courant n'y entre pas et, pour cela, la placer sur le côté et plus haut que le fond du chenal, et avec une largeur aussi petite que possible dans le sens transversal de la rivière. Les crépines doivent être, par conséquent, placées dans le sens longitudinal parallèlement à l'axe du courant.

Le meilleur moyen d'empêcher l'obstruction des tuyaux d'aspiration est d'y faire passer de violents courants d'eau sous pression à l'aide d'appareils *ad hoc*. De cette façon les tuyaux d'aspiration du service des eaux d'Altona sur l'Elbe ont été toujours maintenus libres, et le même principe est appliqué à ceux de Varsovie.

Purification de l'eau. — L'eau puisée dans les fleuves et les cours d'eau a presque toujours besoin d'être purifiée avant d'être livrée à la consommation. Certaines personnes préconisent le système qui consiste à distribuer dans la ville l'eau non purifiée et de s'en rapporter aux habitants qui filtrent eux-mêmes la partie dont ils ont besoin pour la cuisine et la boisson; c'est la décentralisation du filtrage des eaux. Dans une grande distribution d'eau urbaine, ce système ne doit pas être mis en pratique, du moins pas dans les circonstances habituelles en Europe.

Ce système n'a été introduit dans la ville de Hambourg que parce que l'installation du filtre projeté en 1860 a été retardée jusqu'aujourd'hui.

D'ailleurs les conduites d'eau de cette ville se remplirent de vase et de matières organiques vivantes et le cri qui s'est élevé en faveur d'un filtrage des eaux, non seulement de la part des hygiénistes, mais aussi de tous les habitants en général, montre suffisamment que la décentralisation du filtrage n'a donné aucun résultat satisfaisant, et ne pouvait pas en donner.

On a remarqué aussi que, par suite des inscrustations et du développement de la vie végétale et animale à l'intérieur du réseau des conduites d'eau, le débit des tuyaux était très amoindri et les frais d'exploitation augmentés en proportion.

La ville de Hambourg avec sa consommation de 130 000 mètres cubes par jour peut servir d'exemple de la nécessité d'une purification centrale des eaux dans les grandes villes.

L'application de ce système y est dès à présent décidée.

Moyens de purification. — Les moyens de purifier l'eau reposent :

(*a*) sur l'emploi de moyens locaux naturels, c'est-à-dire par le filtrage naturel.

(*b*) sur l'emploi de moyens artificiels, bassins de dépôt et filtres.

a. Filtrage naturel. — Il faut ici faire une distinction bien nette entre les eaux provenant souvent des terres sous forme de *sources artificielles fournies par des nappes souterraines* et celles *puisées directement dans les fleuves et filtrées*. Très souvent on appelle improprement eau fluviale filtrée celle qui provient de nappes souterraines et qui a été captée dans les puits ou dans les galeries et conduits collecteurs avant d'avoir atteint les fleuves. Ce n'est que lorsque la quantité fournie par une installation de ce genre dépasse la quantité provenant des sources de terre ou des nappes souterraines voisines du fleuve qu'on peut dire que ce qui provient du fleuve même a subi un filtrage naturel.

Il reste à rechercher si ce procédé de filtration naturelle présente *à priori* en lui-même les garanties d'un effet durable.

Première condition d'une bonne filtration. — Le filtrage est naturellement un procédé qui tend à obstruer le filtre; ce n'est que quand on réussit à retenir sur la surface mince supérieure du filtre les matières qui troublaient l'eau, et qu'on peut les enlever de là, que le fonctionnement

du filtre est satisfaisant et durable. Du moment que cela ne peut se faire et surtout si les impuretés sont emportées par l'eau dans les couches profondes où elles se déposent finalement, le procédé de filtrage n'aboutit qu'à *charger peu à peu toute l'épaisseur de la couche filtrante* de vase et de matières organiques qui finissent par l'obstruer complètement.

Le premier principe est donc que *l'élimination des impuretés doit se faire une fois pour toutes, c'est-à-dire complètement sur la mince couche supérieure du filtre, et que ces matières doivent être enlevées au fur et à mesure de leur dépôt.*

Procédé de filtration naturelle. — La filtration naturelle est basée sur l'hypothèse que cet effet s'opère sur le lit du fleuve, que les impuretés y sont retenues sur le fond et sont entraînées par le courant.

Ces conditions ne se rencontrent guère dans les cours d'eau naturels; la différence de vitesse du courant en différents endroits empêche que le fond sablonneux reste le même partout, et il en résulte un lit de fleuve entremêlé de pierres et de graviers, qui permet en certains endroits à l'eau trouble de pénétrer plus profondément dans les couches; de sorte qu'elle n'est filtrée qu'assez loin de la surface. C'est pourquoi les essais de filtrage naturel de l'eau nécessaire pour les besoins de grandes villes ont presque toujours échoué; en général, la diminution en quantité allait de pair avec un abaissement de qualité, ce qui correspond avec l'obstruction graduelle des couches par la vase et les matières organiques arrêtées au passage.

Les surfaces naturelles de filtrage sont certainement très étendues; mais, d'un autre côté, les masses d'eau qui les traversent chaque année sont aussi très considérables, et, si petite que soit la quantité d'impuretés que chaque mètre cube abandonne dans les couches, cela aboutit en somme à un volume formidable de vase qui, pour une ville de 200 000 habitants pendant dix ans, peut s'élever à 20 000 ou 40 000 mètres cubes.

Pour les mêmes raisons les prétendus filtrages préliminaires à travers des couches artificielles ou naturelles de sable ou de gravier pour intercepter les grosses impuretés, sont absolument illusoires.

Si l'eau sortant d'un de ces filtres préliminaires est claire, tout autre filtrage est superflu; si au contraire elle est trouble, c'est que les matières organiques et en décomposition pénètrent dans le corps même du filtre, ou, en d'autres termes, qu'on a fait passer l'eau à travers des couches de sable ou de gravier chargées de matières organiques nuisibles. Dans ce cas, le filtre préliminaire est non seulement inutile, mais constitue un véritable danger.

C'est pourquoi il est préférable de puiser directement dans le fleuve sans se servir d'aucune sorte de filtre préliminaire; on est ainsi à l'abri de semblables inconvénients.

Les moyens artificiels pour clarifier et purifier l'eau sont :

a. La décantation (dépôt):

b. Le filtrage.

Purification par décantation seule. — Le *procédé par décantation* ne suffit que lorsqu'on peut disposer de bassins de dépôt très étendus.

Dans les installations qui sont alimentées par des grands réservoirs établis dans les montagnes, la clarté de l'eau provient en grande partie de la décantation que les eaux troubles ont subie dans ces réservoirs.

Comme exemple du degré de clarification qu'on peut ainsi obtenir, il convient de citer le réservoir bien connu de La Gileppe et les grands réservoirs de la ville de Manchester (dus à Bateman). Dans ces derniers on laisse séjourner l'eau tour à tour dans cinq réservoirs établis successivement au-dessus des autres pour qu'elle y subisse la clarification nécessaire avant d'être livrée à la consommation de la ville.

Mais, dans beaucoup de ces installations d'eaux de montagne, on a dû faire subir un filtrage supplémentaire à l'eau, même quand cette eau est destinée à l'industrie; quand elle est destinée à la consommation, ce filtrage est indispensable.

A Hambourg on se sert de cette méthode de dépôt simple pour purifier l'eau au moyen des installations établies en 1845-1849, par W. Lindley, et elle s'est montrée suffisante tant que la quantité d'eau à livrer restait en rapport avec la capacité des bassins. Mais il est prouvé que cette méthode ne peut pas être appliquée en grand par ce fait que le filtre, déjà projeté par le constructeur avant 1860, doit maintenant être établi.

De même à Londres, l'eau de la Tamise était autrefois clarifiée simplement par dépôt; la filtration au moyen du sable y fut introduite pour la première fois, précisément parce que le temps de séjour de l'eau ne suffisait plus pour en séparer les plus fines parties des matières en suspension et qu'on était obligé d'avoir recours à un procédé plus expéditif.

L'expérience démontre que, dès qu'il s'agit de purifier de grandes masses d'eau pour l'alimentation d'une ville, le procédé du filtrage artificiel s'impose.

Mais, de même que le filtrage dans ce cas est un complément nécessaire de la purification par dépôt, ce dernier procédé doit toujours être employé d'abord comme préparation à un filtrage économique et complet.

Ce n'est que dans des circonstances exceptionnelles (nature particulière de l'eau, manque d'espace, etc.) que l'on peut renoncer aux avantages d'une décantation préliminaire et appliquer directement le procédé plus dispendieux du filtrage seul.

Purification par dépôt et filtrage combinés. — Une combinaison pratique du dépôt et du filtrage est généralement le meilleur moyen de purifier l'eau de rivière pour l'usage d'une ville.

Lorsqu'on ne peut disposer de bassins naturels de dépôt, tels que des lacs, etc., il faut construire des bassins artificiels où l'eau viendra déposer ses impuretés.

Dépôt artificiel. — Pour le dépôt artificiel on a deux systèmes : (*a*) *le*

système intermittent et (*b*) *le système continu;* dans le premier, l'eau séjourne pendant un certain temps dans les bassins à l'état de tranquillité absolue, dans le second, le bassin est constamment traversé par un courant extrêmement lent, au point de ressembler à une tranquillité absolue.

Durée de la décantation. — Le temps que doit durer la décantation varie selon les conditions locales. On le détermine en établissant la proportion de matières en suspension qui se précipitent au fond de l'eau en différents temps donnés.

Dans ces installations, il faut tenir compte, à côté des considérations hygiéniques, des dépenses à faire pour purifier l'eau par l'action combinée du dépôt et du filtrage.

Il faut distinguer dans les matières en suspension celles qui, par le fait seul de la tranquillité de l'eau, tombent au fond, et celles qu'on ne peut pratiquement éloigner que par filtrage.

Pour la séparation des matières grossières en suspension, le *procédé de dépôt* est le plus économique; pour les matières plus fines, qui demanderaient un temps beaucoup plus long pour se déposer et pour lesquelles il faudrait des bassins très grands, le *filtrage* est préférable et plus économique.

Il ne s'agit plus de séparer de l'eau le plus de matières possibles, mais de déterminer la limite où la continuation du procédé de décantation cesse d'être plus économique que le filtrage, ou bien où il faut recommander de cesser la décantation eu égard au développement de germes dans l'eau stagnante.

Le progrès de la science bactériologique dans ces dernières années a permis de montrer l'importance qu'il y a à rendre aussi court que possible le séjour de l'eau dans les bassins de dépôt, afin de restreindre le développement de la vie organique dans l'eau, et à retirer de l'eau le plus de matières nuisibles dans le moins de temps possible, ce qui revient à ne se servir que de bassins aussi petits que possible.

Pour cela il est important que le dépôt des matières ait lieu depuis le moment de l'arrivée de l'eau dans le bassin jusqu'à sa sortie sans interruption, et que l'action se fasse dans toute l'étendue du bassin.

Système intermittent et système continu. — Dans le *système intermittent*, les périodes de remplissage et de vidange, si restreintes qu'elles soient, sont en grande partie perdues pour la décantation. Il faut aussi quelque temps à l'eau rapidement introduite pour se calmer et, au moment de la vidange, il se produit vers la sortie un courant assez violent pour entraîner les matières les plus légères du dépôt.

Dans le *système continu* au contraire, l'eau entre régulièrement par une extrémité pour en sortir de même par l'autre; chaque bassin est traversé d'une manière continue pendant les vingt-quatre heures par une quantité d'eau limitée qui n'a que la très minime vitesse permettant au dépôt de se former et qui correspond presque au repos absolu. Le bassin est

constamment le siège du dépôt, il n'y a pas de pertes de temps, et ce qui a été une fois déposé au fond y reste.

Dans le système intermittent, le fond des bassins de dépôt doit être maintenu plus élevé que la surface du filtre, ce qui a le désavantage, pour une élévation générale de 30 mètres, d'augmenter de 8 à 10 pour 100 la consommation de charbon des machines élévatoires; dans le système continu le niveau d'eau dans les bassins de dépôt n'est que fort peu au-dessus de celui du filtre.

La diminution de la capacité des bassins de dépôt par rapport à la quantité d'eau à clarifier a encore l'avantage de rendre possible la construction de bassins en maçonnerie et voûtés.

Observations faites sur les bassins de dépôt. — Les études préliminaires pour les bassins de clarification de Francfort-sur-le-Mein ont conduit aux conclusions suivantes (les installations étant basées sur le principe de la clarification par dépôt pour les impuretés grossières d'une eau boueuse; mais les résultats s'appliquent immédiatement à l'eau de rivière) :

(*a*) Il est impossible dans un bassin trop large d'assurer un dépôt uniforme et régulier dans toute sa largeur;

(*b*) Avec un mouvement très lent, les moindres forces suffisent pour provoquer un courant local, dont l'action se fait sentir depuis le point d'arrivée jusqu'à la sortie de l'eau;

(*c*) L'eau suit le plus court chemin, et les parties du bassin à droite et à gauche, une fois remplies, ne sont plus régulièrement renouvelées et, par conséquent, leur action n'est que limitée;

(*d*) En été, lorsque l'eau se refroidit dans le bassin, le courant local est limité à la surface, l'eau plus chaude coule au-dessus de la couche plus froide en se dirigeant vers la sortie et les parties profondes de l'eau dans le bassin ne participent pas au mouvement. Il suffit de la moindre différence de température, même d'une fraction de degré, pour que cette circonstance se produise.

Ces particularités dans les mouvements des eaux se font surtout remarquer lorsqu'on observe pendant quelque temps dans un bassin une eau fortement chargée d'impuretés.

Les causes dont il s'agit sont certainement minimes; mais lorsqu'on les néglige elles agissent en sens contraire du but à obtenir, tandis que, si on les détermine et si on s'en sert, elles agissent aussi sûrement pour y contribuer.

Application des observations à la construction des bassins. — En gardant des proportions convenables de largeur et de profondeur par rapport à la longueur du bassin, on peut éviter un courant central et assurer un mouvement uniforme dans toute sa largeur.

Dans ce but les bassins de dépôt sont divisés en galeries distinctes par des murs de séparation d'un bout à l'autre dans le sens du courant. Chaque galerie est étroite par rapport à sa longueur; de 5 à 6 mètres de

large, sur 80 à 120 mètres de longueur, avec une profondeur de 2 à 3 mètres.

Cela est représenté en coupe transversale dans les figures 2 et 3.

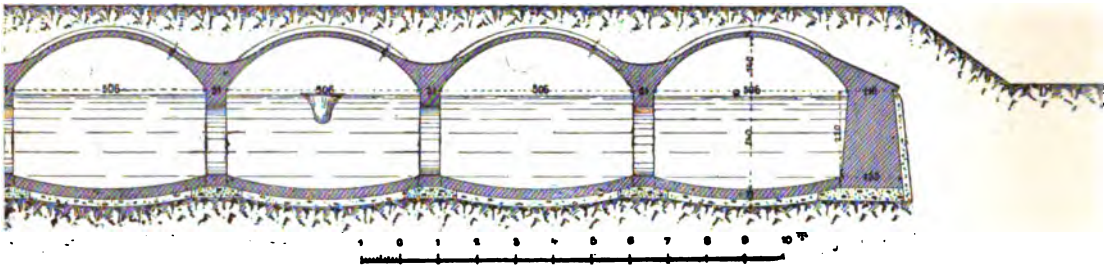


Fig. 2. — Bassins de dépôt Coupe du côté de l'arrivée des eaux.

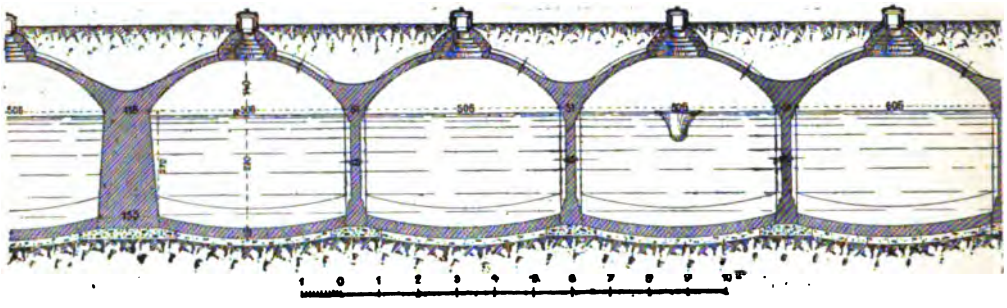


Fig. 3. — Bassins de dépôt. — Coupe du côté du départ des eaux.

A l'extrémité de sortie se trouve une ouverture qui déverse l'eau dans des conduites menant aux filtres, et fait sortir de chaque galerie exactement la quantité d'eau qu'elle est destinée à clarifier. Cette disposition est représentée dans les coupes (fig. 4 et 5).

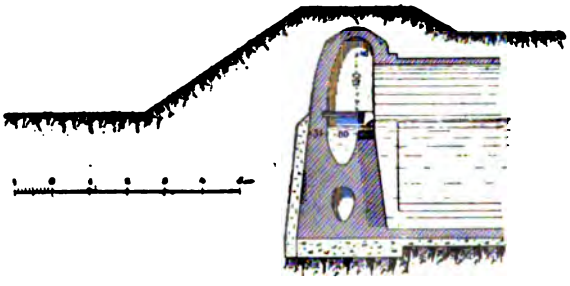


Fig. 4. — Départ du bassin de dépôt. Mur avec déversoir d'eau claire; canal d'eau claire et canal de décharge.

Comme les galeries ne communiquent entre elles que par une ouverture du côté de l'arrivée des eaux, représentée en coupe longitudinale dans la figure 6, chaque galerie est traversée dans toute sa longueur par la quantité d'eau qui lui est destinée.

A l'extrémité de sortie des eaux, une simple vanne plongeante permet

de donner issue à l'eau du fond en été, à l'eau de surface en hiver, et par ce moyen la différence de température contribue à obtenir l'action de la clarification dans la masse tout entière, dans le sens vertical.

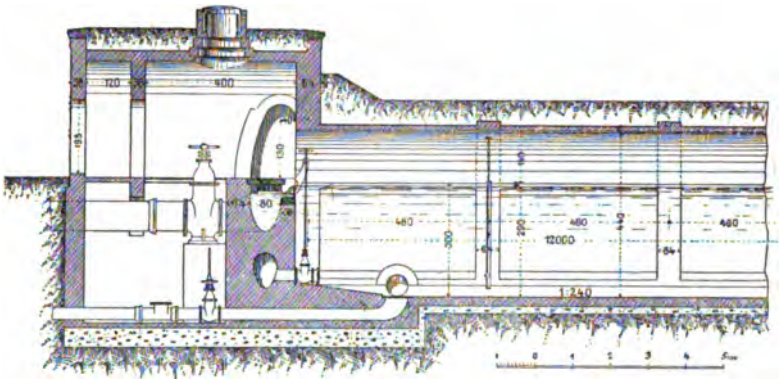


Fig. 5. — Extrémité du bassin du dépôt, côté du départ avec chambre de robinets; Vanne, trop-plein d'eau claire, canal d'eau claire et d'amenée sur les filtres, appareils de décharge et de vidange des boues.

La vanne plonge dans l'eau jusqu'aux 2/3 ou 3/4 de la profondeur. Son

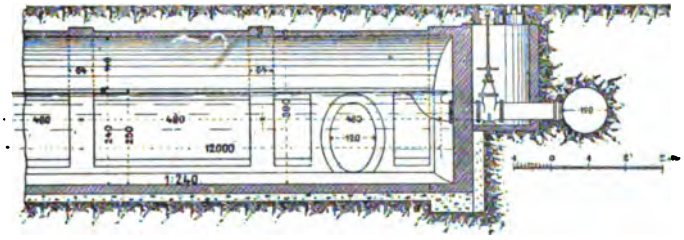


Fig. 6. — Arrivée des eaux dans le bassin de dépôt avec orifices de communication des différentes galeries.

action est représentée dans les figures 7 et 8; les flèches indiquent la di-

Fig. 7. — Action de la température dans les bassins de dépôt, en été, vanne élevée.

Fig. 8. — Action de la température dans les bassins de dépôt, en hiver, vanne baissée.

rection du courant, les courbes sont des courbes d'égale température. En été, l'eau qui arrive chaude se répand sur la surface, traverse le bassin,

dépose, et, devenant peu à peu plus froide, descend lentement. La vanne étant levée, l'écoulement se fait naturellement au-dessous d'elle; de cette façon, l'eau qui a le plus longtemps séjourné dans le bassin en sort toujours la première.

En hiver l'eau qui entre plus froide, descend au fond, et celle qui a déjà séjourné plus longtemps dans le bassin en se purifiant, étant plus chaude, remonte à la surface et s'écoule au-dessus de la vanne qui dans ce cas a été plongée jusqu'au fond.

Par cet arrangement toute l'étendue de chaque galerie et par conséquent l'ensemble de l'installation entière se trouve également en activité et le travail s'accomplit d'une façon complète.

Succès des bassins de clarification à Francfort. — Grâce à un principe analogue, les bassins de dépôt à Francfort-sur-le-Mein fonctionnant seulement pendant six heures retiennent 90 pour 100 des matières en suspension dans l'eau. Cette action, purement mécanique, est tellement complète qu'il a été impossible d'arriver à précipiter en quantité appréciable de nouvelles matières au moyen de réactifs chimiques. La vitesse du courant pendant l'opération est de 4 millimètres par seconde.

Ces principes, appliqués à la purification de l'eau, ne peuvent manquer d'avoir une influence favorable sur la qualité.

Il suffit en général, dans cette opération, de quinze à trente heures pour débarrasser l'eau des matières qu'il s'agit d'éliminer par la précipitation, la vitesse du courant, pour une longueur de 100 à 120 mètres, étant de 1 à 2 millimètres par seconde.

Les bassins de dépôt projetés pour la ville de Varsovie seront établis d'après ces principes.

Autres installations de bassins de dépôt. — Les bassins de dépôt généralement en usage jusqu'à présent dans les services d'eau sont pour la plupart d'une construction très simple, ce sont en général de grands réservoirs en terre, dallés et à ciel couvert, quelquefois entourés de murs; leur profondeur varie entre $2^m,5$ et $3^m,5$ et ils sont établis soit d'après le système intermittent soit d'après le système continu; mais c'est ce dernier système qui est le plus généralement adopté surtout quand il s'agit de grandes masses d'eau.

La durée de la décantation varie en général de douze heures à cinq jours; mais le plus ordinairement elle est d'une journée à une journée et demie.

Les bassins de dépôt les plus considérables comme étendue sont ceux de Londres; les bassins de la Compagnie « East London », qui servent en même temps de bassins de réserve, contiennent plus de 4 millions de mètres cubes.

Filtre artificiel. — Comme meilleur moyen de filtrer l'eau en grand, il faut mettre en première ligne le filtre artificiel à sable de M. James Simpson, installé par lui en 1839 à l'établissement des eaux de Chelsea à Londres.

Filtres rapides. — On a cherché plusieurs autres moyens de filtrage

artificiel économique, en employant diverses substances telles que : éponges, étoffes, etc. Toutes ces méthodes sont basées sur la diminution de la surface employée et une plus grande rapidité dans le filtrage, principe qui en lui-même est contraire à l'action utile du filtre.

Une installation sur une plus grande échelle d'un filtre artificiel de ce genre, en employant l'éponge et autres substances analogues a été essayée à Astrakhan, mais comme le bourgmestre de cette ville nous en a informé, cette tentative n'a pas eu de succès.

En Amérique on poursuit des essais de vases filtrants de cette espèce, entre autres le filtre de Hyatt, qui est une combinaison de réactions chimiques et de filtration, et qui est aujourd'hui employé en différents endroits en Amérique.

Filtre horizontal à sable. — Mais on peut dès à présent établir comme principe que *le meilleur procédé de filtrage de grandes masses d'eau est sans conteste celui du filtre horizontal à sable.*

Cet appareil de filtrage consistait d'abord en un bassin à fond et parois imperméables, dans lequel on disposait des couches horizontales de substances filtrantes superposées; la couche supérieure de 75 centimètres d'épaisseur est du sable, au-dessous sont des couches de petit et de gros gravier ayant ensemble une épaisseur de 1 mètre; dans la couche inférieure des plus gros graviers se trouvent les canaux qui recueillent l'eau filtrée et la conduisent dans le réservoir d'eau pure.

On remplit le filtre d'eau jusqu'à une hauteur de 1 mètre au-dessus du sable; dès que l'eau filtrée s'écoule dans les canaux à eau pure de la couche inférieure la différence de pression se fait sentir et le filtre entre en activité; l'eau trouble coule lentement vers le fond à travers le sable et laisse les impuretés à la surface. On introduit encore de l'eau trouble et on retire l'eau filtrée par le bas jusqu'à ce que l'accumulation d'impuretés à la surface du sable rende un nettoyage nécessaire. On vide alors le filtre, on enlève la couche de vase avec la surface salie du sable, et on recommence l'opération. Aussitôt que cela devient nécessaire on remplace le sable enlevé par du sable nouveau.

Le filtre à sable employé aujourd'hui est basé sur le même principe et a la même apparence; mais l'expérience a fait introduire de nombreuses modifications de détails et le procédé a été perfectionné. Ces détails sont précisément d'une très grande importance dans l'opération si délicate du filtrage.

Avantages du filtre artificiel. — Le filtre artificiel a l'avantage sur le filtre naturel d'être plus abordable, on peut en disposer à volonté, y ajouter ou en retrancher ce que l'on veut, régler à volonté la différence de pression dont l'action produit le filtrage, nettoyer quand cela est nécessaire, faire écouler l'eau afin d'aérer les couches du filtre, et faire en sorte que, pour chaque mètre carré d'eau, il y ait les conditions de filtrage les plus favorables. D'ailleurs l'expérience a démontré que la filtration est une

opération tellement délicate que ces conditions convenables et une grande régularité sont indispensables.

Le filtre naturel au contraire n'est guère recommandable : son nettoyage par le courant du fleuve est assez problématique ; de plus, toute la surface, quelle que soit la constitution fine ou grossière de ses éléments, et à quelque degré qu'elle soit obstruée par la vase, subit la même pression partout, et souvent cette pression peut considérablement dépasser la mesure reconnue nécessaire et utile dans les filtres artificiels.

Conditions essentielles du filtrage. — Une bonne filtration exige tout d'abord les trois conditions essentielles suivantes :

La lenteur, l'égalité d'action et la régularité.

a. Lenteur. — Une filtration lente est nécessaire pour éliminer les particules les plus fines des matières en suspension. La vitesse convenable de la marche de l'opération doit être réglée d'après les conditions locales qui dépendent de la nature des eaux du fleuve.

L'eau de rivière provenant du déversement de bassins où les terres sont argileuses, pendant les saisons de pluie ou de dégel, est la plus difficile à filtrer.

Par rapport à la vitesse ou plutôt à la lenteur du filtrage, c'est-à-dire de la capacité filtrante par mètre carré de surface de sable, on a depuis trente ans constaté un progrès constant.

Dans les premières années après 1860 la formule 3,6m^3 *par* m^2 *et par jour* représentait la quantité moyenne de filtrage effectif d'un grand établissement de filtration.

Dans le récit bien connu du voyage d'études de M. Kirkwood en 1866, il donne les chiffres suivants : 3,5 *à* 3,9m^3 *par* m^2 *et par jour* comme résultats de l'expérience de MM. Simpson, Gill, Duncan et Greaves à Londres, Berlin et Liverpool. Gill et Duncan donnent ces chiffres comme *maximum*, Greaves et Simpson les donnent comme moyenne. Dans ce dernier cas le chiffre maximum serait plus élevé. A Londres à cette époque, dans un des services d'eau de cette ville, ce maximum était de 5 *à* 7m^3 *par* m^2 *par jour* Dans les « Suggestions » de Robert Rawlinson adressées au « Local Government Board » en 1878 le maximum est déjà tombé à 2,45m^3 *par* m^2 *par jour.*

Les calculs établis en 1874 pour le filtre couvert qu'on venait de construire à Berlin étaient basés sur 3m^3 *par* m^2 *par jour.* D'après une communication du directeur M. Gill, le grand établissement de filtrage du Tegel à Berlin, comprenant 21 filtres, dont 4 de réserve, livrait à cette époque 87 000 m^3 par jour. Le maximum était de 2,4m^3 *par* m^2 *par jour.* L'établissement des filtres de la ville de Varsovie, en fonction depuis 1886, a donné comme maximum 2,4m^3 *par* m^2 *par jour.* Ce maximum de vitesse de filtration est en même temps la proportion normale, comme on le verra plus loin, et le filtre une fois en action a toujours continué avec la même vitesse.

Une détermination exacte est importante, car c'est d'elle que dépend, d'une part la pureté de l'eau et d'autre part les frais d'établissement; aussi il est préférable de fixer le chiffre trop bas que trop haut.

A part les exceptions, on peut établir aujourd'hui comme la meilleure indication de la *vitesse normale* 1,8 *à* $3m^3$, en moyenne 2,4 m^3 *par* m^2 *par jour*. En tenant compte de la diminution de vitesse au commencement et à la fin du filtrage on peut réduire à 85 pour 100 du chiffre précédent la vitesse moyenne effective, ce qui donnerait 1,5 *à* $2,5m^3$, en moyenne $2m^3$ *par* m^2 *et par jour*.

Ceci permet de déterminer en même temps la surface active filtrante nécessaire, à laquelle il faut ajouter la surface de réserve employée en temps de nettoyage. Cette dernière varie selon l'importance de l'installation entre 10 et 20 pour 100 de la surface effective filtrante.

b. Égalité d'action. — Par l'*égalité d'action*, on entend que chaque mètre carré d'un bassin de filtrage travaille avec une égale vitesse. Ceci exige que la pression soit la même partout sur le filtre.

Cette condition n'est pas possible à obtenir d'une façon absolue à cause du frottement dans les canaux d'abduction de l'eau filtrée au-dessous des couches; l'eau se place toujours horizontalement sur le filtre; l'eau filtrée doit couler dans les canaux d'abduction vers l'orifice de départ du filtre: pour cela une certaine vitesse est indispensable et il y correspond une perte de pression; c'est pourquoi la pression qui produit la filtration est plus grande vers le point d'écoulement qu'à l'autre extrémité, et la différence est égale à la perte de charge dans les canaux.

On sait qu'au début de l'opération la pression, dans un filtre nouvellement nettoyé, n'est que de quelques centimètres, si le frottement dans les canaux représente une perte de charge considérable par rapport à ce chiffre, la pression du côté de l'écoulement sera beaucoup plus forte qu'à l'autre extrémité du bassin, et cela au moment où la surface de sable pur est le moins en état de faire une filtration complète, et par conséquent il y aurait danger de voir entraîner de l'eau trouble dans l'intérieur de la couche de sable du côté de l'écoulement.

C'est pourquoi il est impossible d'obtenir une filtration bien égale lorsque les canaux d'abduction sont trop étroits; au début de l'opération, ou bien l'eau qui sortira ne sera pas bien claire, ou bien le filtre ne marchera pas avec la vitesse utile, ce qui serait possible en donnant des dimensions convenables aux canaux d'abduction.

L'égalité de filtration exige des canaux d'abduction aussi larges que possible; une des formes qu'on leur donne est celle de petits tuyaux en grès percés de trous, ce qui constitue *un* des *extrêmes* du mauvais, tandis que l'*autre extrême* se voit dans le filtre des « Waterworks » de Lambeth, à Londres, dans lequel les canaux d'abduction, construits en forme de voûte, occupent toute la largeur du filtre et dans lequel on obtient l'égalité absolue du filtrage, mais avec d'autres inconvénients, car, chaque fois qu'on

vide le filtre, on perd toute l'eau filtrée contenue dans ces canaux et le temps correspondant.

Dans les filtres de Varsovie, la perte par frottement dans les canaux d'abduction d'eau pure a été limitée à 5 millimètres, ce qui donne dans ces canaux une vitesse maxima de 8 à 10 centimètres par seconde. Lorsque la pression sur le filtre est au chiffre très faible de 50 millimètres, la différence n'est que de 10 pour 100, et elle est seulement de 2 pour 100 lorsque la pression est de 250 millimètres. Des mesures prises sur des filtres en activité ont vérifié ces résultats et des expériences très concluantes ont démontré qu'en pratique la pression du côté de l'écoulement était la même qu'à l'autre bout de l'appareil.

De même que l'égalité de filtration est exigée pour chaque mètre carré d'un bassin, de même cette égalité doit aussi être assurée dans chaque bassin de l'installation générale. La surface de chaque filtre se trouve dans des condilions différentes de propreté et par conséquent chaque filtre demande une autre pression de filtrage.

c. Régularité. — La régularité de la filtration exige que la vitesse normale de l'opération soit maintenue depuis le moment où le filtre est mis en service normal jusqu'au moment où le nettoiement devient nécessaire.

L'importance qu'on attache à cette régularité s'explique par le fait que dans tout le filtre il s'est établi un équilibre dans l'adhérence des fines particules d'impuretés entre elles ou aux grains de sable, dans le dégagement des gaz dans l'intérieur des couches de sable etc., grâce à une vitesse uniforme du passage de l'eau à travers les couches filtrantes ; des changements de vitesse peuvent être préjudiciables à cet équilibre et par conséquent à la perfection de l'opération du filtrage.

Pour assurer cette régularité, il est avant tout nécessaire de rendre la filtration indépendante de la consommation variable de la ville. L'eau doit être amenée aussi régulièrement que possible sur le filtre, au besoin par des machines distinctes ; les filtres doivent marcher sans interruption pendant les vingt-quatre heures, et l'équilibre entre le *débit régulier* du filtre et la *consommation variable* doit être établi au moyen du réservoir d'eau purifiée.

De plus, la différence de pression doit être assurée contre toute diminution ou augmentation qui pourrait résulter de la hausse ou de la baisse du niveau dans le réservoir d'eau purifiée. Les filtres qui sont en communication directe avec les canaux d'abduction d'eau claire, sans l'interposition d'un appareil convenable de contrôle, sont inférieurs au point de vue de la régularité. Mais il est indispensable que le réglage de la pression supérieure soit fait indépendamment pour chaque filtre ; car chaque filtre a besoin d'une pression particulière selon l'état de la surface de la couche de sable.

Sur un filtre fraîchement nettoyé, le débit normal d'eau filtrée est obtenu avec une pression de quelques centimètres seulement ; à mesure que

la vase vient s'accumuler à la surface du sable, il faut une pression de plus en plus forte, jusqu'au moment où il devient nécessaire de suspendre le filtrage et de procéder au nettoyage; c'est pourquoi il est indispensable de bien régler constamment la pression supérieure de filtrage.

Il convient ici de faire remarquer la différence de ce procédé avec les méthodes plus anciennes de filtrage, encore employées en beaucoup d'endroits; d'après ces méthodes la *pression de filtrage* était plus ou moins constante, et le *débit*, d'abord considérable, diminuait progressivement à mesure que le filtre s'obstruait jusqu'au moment où, *le débit devenant trop faible*, on mettait le filtre hors de service; tandis que, par le procédé qu'on vient de décrire, le *débit* est maintenu, autant possible, constant, en augmentant progressivement la pression, faible au début, à mesure de l'obstruction du filtre, que l'on ne met hors de service que *lorsque la pression a atteint un certain maximum.*

Contrôle de la vitesse du filtrage. — Le niveau au-dessus du filtre, c'est-à-dire la profondeur d'eau au-dessus du sable, doit être maintenu autant que possible constant. Donc le meilleur moyen de régler la pression de filtrage est de régler le niveau dans la chambre d'eau filtrée, qui donne la mesure de la pression de l'eau claire dans les canaux d'abduction, et c'est par la variation de cette pression que l'on peut obtenir une pression effective de filtrage plus ou moins forte.

La meilleure manière de faire ce réglage est la voie quantitive, c'est-à-dire qu'on retire de la chambre d'eau claire du filtre, régulièrement et exactement la quantité qui correspond à une vitesse de filtrage normale, et alors la pression sur le filtre s'établit convenablement au degré voulu.

Ceci s'obtient par une ouverture de jaugeage, et le réglage se produit automatiquement ou par l'entremise d'un gardien.

A Berlin, dans les filtres du Tegel, on a aménagé, dans la chambre d'eau claire, un mur de séparation dans lequel est insérée une plaque avec l'ouverture de jaugeage pour le passage de l'eau; au moyen d'une vanne établie dans le canal d'eau claire du filtre, l'alimentation de la chambre est réglée de façon que le niveau soit maintenu à une hauteur constante (de 15 centimètres environ) au-dessus du bord supérieur de l'ouverture par ce moyen le débit constant est assuré.

Dans les filtres de Varsovie l'appareil de réglage est automatique. Il est représenté par la figure 9; il consiste en un tube vertical télescopique de 60 centimètres de diamètre; le tube extérieur est mobile et muni à son extrémité supérieure de deux petites ouvertures *a* en forme de fentes carrées horizontales de 40 centimètres de longueur sur 8 centimètres de large, le tout étant fixé à un flotteur; de cette façon les deux ouvertures sont toujours plongées à une même profondeur au-dessous du niveau dans la chambre d'eau claire, et lui soutirent la quantité d'eau fixée, quelles que soient les variations du niveau *b*, qui dans l'intérieur du tube s'élève et s'abaisse avec le niveau dans le réservoir d'eau claire.

Avant le commencement du filtrage, le niveau dans la chambre d'eau claire est le même que celui au-dessus du filtre. Dès que le régulateur est mis en fonction, il descend jusqu'à ce que la pression du filtrage *h*, nécessaire pour assurer le débit normal soit atteinte; à mesure que la surface du filtre s'obstrue de vase, le niveau s'abaisse, et avec lui le flotteur dans la chambre d'eau claire, jusqu'à ce que la pression maxima de filtrage ait été atteinte. Pour diminuer au besoin la quantité d'eau débitée par le filtre, on peut obstruer les ouvertures du tube au moyen d'une petite vanne annulaire.

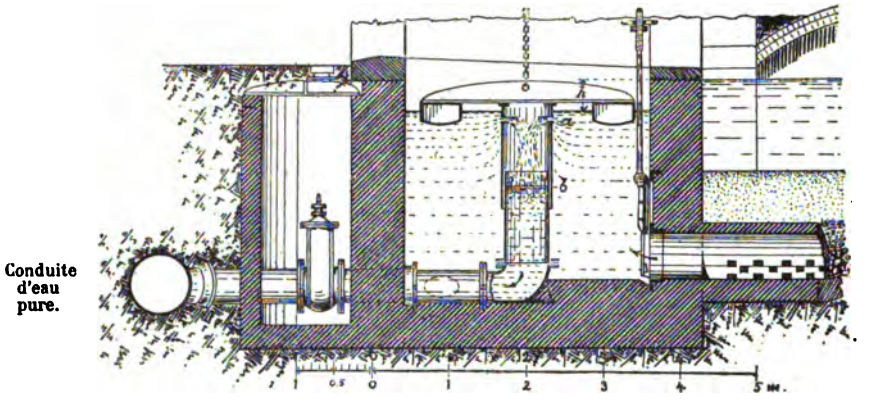


Fig. 9. — Appareil régulateur pour filtre (Varsovie).

Couches filtrantes. — A côté de ces trois conditions premières d'une filtration, le *choix convenable du sable* et la façon *d'établir les couches du filtre* sont de la plus grande importance; il faut un sable assez fin, aussi pur que possible, à grains nets et de qualité égale. Pour le filtrage de l'eau argileuse de la Vistule, à Varsovie, on a trouvé qu'il était en outre nécessaire après chaque nettoyage d'aplanir et de comprimer la surface du sable en le battant.

Dans la pratique l'épaisseur de la couche de sable varie entre 50 et 120 centimètres; celle de l'ensemble des couches est de 120 à 220 centimètres. Dans les filtres voûtés de Berlin et de Varsovie, les couches sont composées de 60 centimètres de sable et de 60 centimètres de graviers et de galets.

Les couches de graviers et de galets sont disposées par ordre augmentant de grosseur vers le bas. Chaque couche a pour but d'empêcher les parties fines des couches supérieures de descendre dans les interstices plus larges des couches inférieures; leur arrangement, est tel que l'eau filtrée qui est dans la couche la plus basse peut librement et sans obstacle se rendre par le plus court chemin dans les canaux d'abduction. Le type de l'arrangement des couches est donné dans la planche à la fin de ce rapport.

Pour la filtration seule, une couche moins épaisse de sable suffirait; la plus grande épaisseur permet de renouveler plusieurs fois le nettoyage

sans être obligé d'apporter du sable nouveau à chaque opération. On peut enlever jusqu'à une profondeur de 30 centimètres en douze ou vingt raclages de 1,5 à 2,5 centimètres; mais l'épaisseur qui reste ne doit pas être moindre que 30 centimètres.

L'épaisseur plus grande des couches absorbe une partie de la différence de pression, et amoindrit par conséquent l'action que des petites oscillations pourraient avoir sur la surface supérieure filtrante.

Relativement à ce sujet, une publication intéressante a été faite sur la qualité de l'eau des services de la ville de Londres. D'après ce document, la qualité de l'eau était en rapport direct avec l'épaisseur de la couche filtrante; cette action heureuse d'une épaisse couche de sable est surtout importante là où les filtres ne sont pas exactement réglés séparément.

Dimensions du filtre. — La grandeur à donner à chaque filtre varie avec l'importance de l'installation générale.

Dans les services d'eau à Londres, cette grandeur est de 1500 à 4000 mètres carrés; les filtres sous voûtes de Berlin installés à Stralau en 1874 ont chacun 3200 mètres carrés:

La première série au Tegel (1884), chaque filtre	2200	mètres	carrés,
La seconde série au Tegel (1887) — —	2550	—	—
Les filtres sous voûtes à Varsovie, chaque filtre	2100	—	—

Dans les établissements plus considérables on peut admettre comme grandeur convenable de filtre de 2000 à 3000 mètres carrés. L'égalité de fonctionnement dont on vient de parler serait difficilement compatible avec des dimensions plus grandes.

Protection de l'eau par la construction de voûtes. — Une question d'une importance particulière est celle de la *construction de voûtes sur le filtre et les bassins de dépôt.*

Il est indiscutable que l'envoûtement est une mesure protectrice très à recommander pour des réservoirs d'emmagasinage d'une matière aussi délicate que l'eau destinée à l'alimentation d'une ville.

Tout ce qui peut être entrepris dans des limites raisonnables pour améliorer la qualité de l'eau doit être fait, même quand cela entraîne des frais. Depuis le moment de la captation de l'eau, on doit la mettre à l'abri de toute souillure et contact nuisible; sa voie devrait être souterraine, protégée contre toute influence contaminante.

Dans les bassins ouverts, l'action du soleil et de la chaleur sur l'eau relativement peu profonde est nuisible, sans compter les autres causes de souillure auxquelles cette eau est exposée.

La protection de l'eau au moyen de voûtes est un véritable progrès. Il y a quarante ans, les réservoirs recouverts de voûtes étaient encore des exceptions, même pour l'eau filtrée. On trouve encore, surtout en Angleterre et en Amérique, de nombreux réservoirs pour l'eau pure non recouverts de voûtes.

Naturellement on eut d'abord recours à la construction de voûtes pour protéger les réservoirs d'eau purifiée.

Un nouveau progrès fut l'application de ce genre de construction au dessus des filtres; la première installation en grand de filtres voûtés est celle bien connue de Marseille. Les grands filtres du service des eaux à Berlin construits de 1873 à 1887 furent tous établis sous voûtes; les dimensions de ces filtres sont les suivantes :

A l'établissement de Stralau	(filtres construits en	1874).	9 600 mèt. car.
A l'établissement du Tegel	(—	1884).	22 000 —
Au même établissement	(—	1887).	20 000 —

Ils furent exécutés d'après les plans de M. le directeur Henry Gill, et je ne crois pas me tromper en les désignant comme les plus importantes installations de ce genre qui existent. A Varsovie on trouve deux groupes de filtres recouverts de voûtes, chacun d'une superficie de 12 600 m², et présentant ainsi ensemble une surface de sable de 25 200 m².

Un nouveau pas en avant dans cette direction sera la mise sous voûtes des bassins de dépôt, dont il n'existe encore que peu d'exemples; Varsovie en possède, en ce sens qu'une partie des filtres ci-dessus mentionnés, non munis de couches de filtrage, servent comme bassins de dépôt; mais d'ici peu ils doivent être complétés comme filtres et servir à cet usage, devant être en même temps remplacés par des bassins définitifs de dépôt construits sous voûtes, dont le type est donné dans les figures 2 à 6, pages 16 et 17.

Les avantages de l'emploi des voûtes sont les suivants :

1° La qualité de l'eau est à l'abri de détérioration. Depuis le moment où l'eau a été puisée dans le fleuve jusqu'à sa distribution dans les maisons, elle séjourne dans des locaux et des conduits tenus aussi frais que possible; de cette façon en été la température de l'eau n'est pas exposée à monter et l'action de la fraîcheur terrestre est maintenue; en même temps on empêche tous les phénomènes si nuisibles du développement des germes et de la végétation et par cela même la propagation des substances organiques dans l'eau, phénomènes qu'on observe toujours dans des bassins peu profonds exposés au soleil.

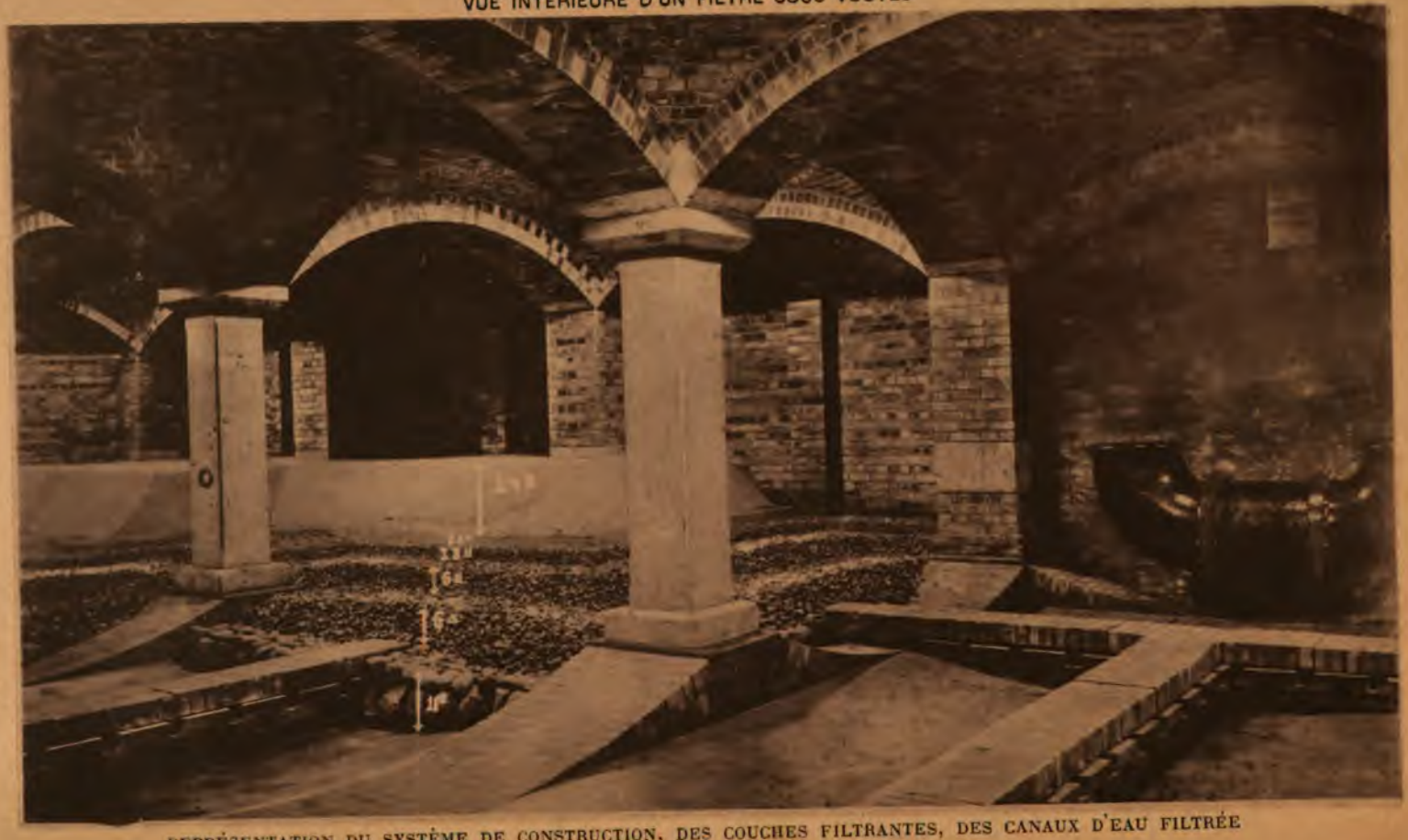
2° Pendant l'hiver très froid du nord et de l'est de l'Europe l'eau sous ces voûtes est protégée contre un trop grand abaissement de température, au contraire cette température s'élève un peu, ce qui est important pour la distribution de l'eau dans les maisons, en l'empêchant de geler dans les conduites particulières.

3° Les bâtiments, déjà si coûteux, sont en partie protégés contre les dégâts produits par les froids de l'hiver.

4° Les difficultés et les interruptions dans le service, inséparables de l'emploi des bassins ouverts, pendant les froids rigoureux de l'hiver,

SERVICE DES EAUX DE VARSOVIE

VUE INTÉRIEURE D'UN FILTRE SOUS VOUTES



REPRÉSENTATION DU SYSTÈME DE CONSTRUCTION, DES COUCHES FILTRANTES, DES CANAUX D'EAU FILTRÉE ET DE L'APPAREIL D'ALIMENTATION

sont évitées et le fonctionnement du service devient indépendant de ces influences.

5° Le filtre voûté et recouvert de terre peut être nettoyé en hiver comme en été et n'exige pour cela que l'existence de la surface de réserve qui doit fonctionner pendant le nettoyage. Cette considération donne une valeur économique aux voûtes dans un climat froid. Il est impossible de nettoyer des filtres à ciel ouvert pendant les froids rigoureux, le sable humide se congèle en une masse, il faudrait donc pouvoir disposer de surfaces de réserve assez étendues pour pouvoir se passer entièrement de nettoyages pendant les grands froids. Quoique en général dans les villes du Nord la consommation en hiver soit moindre qu'en été, cependant, comme on est quelquefois obligé par les grands froids de laisser couler les robinets pendant la nuit pour les empêcher de geler, cette consommation, à de certains moments, égale presque celle de la saison chaude.

Bien que l'eau de fleuve par un temps de froid rigoureux soit généralement très claire, ce qui assure une plus longue durée au filtre, la nécessité de construire des surfaces de filtres assez étendues pour suffire à l'alimentation pendant plusieurs mois, occasionne des dépenses très considérables qui dépassent quelquefois celles qu'occasionne la construction de voûtes.

6° Le filtre protégé par des voûtes s'obstrue moins vite que le filtre ouvert, et son nettoyage est par conséquent moins cher.

7° L'abri au vent que procure la voûte facilite grandement la décantation, comme l'ont démontré les bassins de clarification à Francfort.

Filtres voûtés de Varsovie. — Le type d'un filtre voûté de ce genre est montré dans la photogravure ci-jointe, qui représente l'intérieur d'un des filtres de Varsovie.

Les points suivants sont à remarquer en ce qui concerne la construction :

Le système de radiers voûtés supportant les piliers et distribuant également sur la surface du fond le poids des voûtes et de la couche de terre qui les recouvre et en même temps constitue le fond imperméable du filtre; les canaux d'abduction de l'eau filtrée, construits en briques, espacés entre eux, et qui sont enterrés dans la couche de galets de 28 centimètres d'épaisseur; l'utilisation de la courbure du fond pour renforcer la couche inférieure du filtre à côté des canaux d'abduction.

Les couches du filtre représentées séparément dans le dessin se composent de :

60	centimètres	(24	pouces)	de sable fin,
5	—	(2	—)	de gros sable,
8	—	(3	—)	de graviers,
15	—	(6	—)	de gros graviers,
15	—	(6	—)	de galets.
28	—	(11	—)	de gros galets),

en tout 60 centimètres de sable et 60 centimètres de graviers et de galets. L'eau a une profondeur de 1 m. 20 au-dessus de la surface de la couche supérieure de sable.

La voûte est portée par des colonnes en granit de 38 centimètres carrés et se compose d'une voûte sphérique de 12 centimètres d'épaisseur en briques, supportée par des arcs en maçonnerie; les piliers ont un écartement de 4 mètres, et les piliers en briques des murs de soutènement ont un revêtement de granit à la hauteur de la couche de sable pour les protéger contre les atteintes des pelles employées dans le nettoyage du filtre. Dans les murs de soutènement on peut apercevoir les cheminées carrées pour la ventilation des couches filtrantes ainsi que le tuyau d'alimentation à double courbure qui amène l'eau sur le filtre avec le moins de courant possible.

Pour éclairer et aérer l'intérieur du filtre, des ouvertures convenables sont aménagées dans les voûtes sphériques.

Fonctionnement du filtre. — Un fonctionnement convenable est aussi important pour le bon service des eaux qu'une installation appropriée.

Le filtre, à proprement parler, ne consiste pas tant dans la couche de sable que dans la légère couche de vase qui s'y dépose au commencement du filtrage. C'est ce qui explique l'anomalie apparente qu'un filtre fraîchement nettoyé donne de l'eau moins claire qu'un filtre déjà en usage depuis quelque temps, et qu'il est plus difficile d'obtenir l'eau bien claire avec un filtre nouveau, lorsque l'eau du fleuve est assez propre que lorsqu'elle est trouble.

La formation de la première légère couche de vase sur la surface du sable doit être provoquée et aidée; après avoir rempli d'eau claire les couches du filtre par en bas, on finit de remplir avec de l'eau trouble, et on laisse l'appareil en repos pendant deux jours avant de filtrer, la fine couche de vase se forme alors par dépôt; alors on commence à filtrer, mais très lentement pendant encore un ou deux jours, afin que cette légère couche de vase puisse se former complètement avant que le filtre ne soit mis en marche avec sa vitesse normale.

Ces observations conduisent à se demander s'il ne serait pas préférable de remplir un filtre nouvellement nettoyé avec de l'eau *n'ayant pas encore déposé*, ou bien si l'on a affaire à de l'eau de fleuve assez claire, de remplir avec une eau *troublée artificiellement*; si pour obtenir ce trouble de l'eau on ne pourrait se servir de substances inorganiques fibreuses ou floconneuses ou bien employer un procédé chimique inoffensif. Ces questions méritent d'être étudiées.

Dès que, par suite de l'obstruction progressive du filtre, la différence de pression atteint de 60 à 65 centimètres le filtre doit être nettoyé.

La période entre deux nettoyages varie depuis 5 et 6 jours jusqu'à

3 mois, et la moyenne peut être fixée à 3 ou 4 semaines ; à Varsovie elle est de 4 semaines.

Le nettoyage du filtre s'opère en enlevant de 1 à 2 centimètres de la fine couche supérieure de vase et de sable. Une légère coloration du sable, visiblement limitée vers le bas, pénètre plus ou moins selon la qualité de l'eau de 3 à 10 centimètres au-dessous de la surface. Il est bon, en nettoyant le filtre, de laisser en place ce sable coloré, qui au commencement d'une nouvelle opération empêche mieux que le sable propre les impuretés les plus fines de pénétrer plus bas, et retient plus de matières dans la couche supérieure. Mais lors d'un dernier nettoyage il faut enlever ce sable coloré avant de mettre du sable nouveau ; on emporte généralement le sable enlevé dans des brouettes, et à Berlin et à Varsovie on a installé des plans inclinés permanents pour cet usage. Quelques ingénieurs préconisent le *lavage du sable* sur le filtre même ; mais comme la plus grande part des frais de filtrage consiste en intérêts et amortissement des frais d'installation, il est important d'abréger le nettoyage autant que possible, c'est-à-dire de le simplifier ; un filtre de Varsovie de 2100 m² peut être nettoyé par 15 hommes en 10 heures de travail et remis en état avec du sable nouveau par le même nombre d'hommes en 4 jours. C'est le prix du sable frais qui détermine s'il est préférable de laver le sable et de le faire servir à nouveau, ou s'il vaut mieux toujours employer du sable frais. A Berlin le sable est parfaitement lavé et mis en état de servir à nouveau au moyen d'un procédé mécanique à vapeur très ingénieux. A Varsovie le sable souillé sert à combler des terrains ; le sable frais y est à meilleur marché que le lavage.

Le *remplissage du filtre* jusqu'à la surface du sable avec de l'eau claire doit toujours se faire par le bas. Un choix judicieux de l'altitude du filtre par rapport à celle du réservoir d'eau claire permet d'utiliser pour cela les oscillations de niveau de ce dernier ; or le niveau s'abaissant pendant le jour pour *vider*, et le niveau *s'élevant* pendant la nuit pour remplir le filtre : dans le premier cas en arrêtant simplement l'alimentation d'eau trouble sur le filtre, et dans le second cas en laissant entrer l'eau claire par le bas du filtre. De cette façon il n'y a point de pertes d'eau.

Des *cheminées*, aménagées généralement en assez grand nombre dans les murs latéraux, font communiquer les canaux d'abduction ainsi que les cavités des couches inférieures du filtre avec l'atmosphère, permettant à l'air de circuler librement pendant le remplissage ou la vidange du filtre. On a trouvé qu'il était utile, après chaque nettoyage du filtre de le vider complètement jusqu'en bas et d'y laisser pénétrer un large courant d'air, pour y établir une oxydation complète.

Dépenses occasionnées par la purification de l'eau. — Le prix de revient des filtres découverts en Angleterre, d'après une règle adoptée, y compris tous les conduits d'arrivée et de sortie, les appareils, etc, est par m² de surface de sable de. . . . . 50 à 60 francs.

Les *filtres voûtés* de Berlin coûtent par m² de surface de sable :

(*a*) Ceux de Stralau. . . . . 80 francs.
(*b*) La première série à Tegel. . . . . 85 »
(*c*) La deuxième série à Tegel. . . . . 90 »

Les *filtres voûtés* de Varsovie coûtent par mètre carré de surface de sable. . . . . 100 francs.

Ce dernier chiffre est majoré par des droits d'entrée élevés sur les matériaux employés. On peut adopter pour le prix moyen d'un mètre carré de filtre voûté. . . . . 80 à 90 francs.

Des calculs récents faits avec soin pour une grande installation de filtrage avec une surface de 48 000 mètres carrés, donnent comme chiffre rond du prix de revient d'un filtre sous voûte, par mètre carré, 84 francs.

Des calculs faits en même temps pour des filtres découverts, construits avec les mêmes matières et au même prix de main-d'œuvre, ont donné comme prix de revient par mètre carré. . . . . 56 francs. c'est-à-dire les deux tiers environ du prix ci-dessus.

Donc la construction sous voûte entraîne un surcroît de dépenses de 50 pour 100 ; de sorte que si l'on devait établir une surface de 50 pour 100 plus grande pour la réserve d'hiver, cela pourrait balancer les frais de la construction de voûtes.

Les prix de revient de *bassins de dépôt voûtés*, calculé sur les mêmes bases que précédemment, par mètre cube de contenance utilisable est de. . . . . 22 fr. 50.
ou bien par mètre carré de surface bâtie de. . . . . 47 fr. 50.

Les frais de purification de l'eau dans les bassins de dépôt voûtés, y compris les intérêts et l'amortissement du coût de l'installation, montent à un quart ou à un tiers de centime par mètre cube, et les frais de filtrage dans les filtres voûtés sont de 1 à 1 centime 1/2 par mètre cube.

Ce dernier chiffre se décompose en 50 à 60 pour 100 pour intérêts et amortissement et 40 à 50 pour 100 pour main-d'œuvre et matériaux.

Succès de la purification artificielle. — Les *succès* obtenus avec ces filtres dans les établissements en grand, démontrent la haute valeur d'une bonne filtration, dès qu'il s'agit de rendre l'eau de rivière propre à l'alimentation des villes. On ne peut que renvoyer à ce sujet aux nombreux rapports qui ont été publiés sur les analyses bactériologiques et chimiques auxquelles ont été soumises des eaux de ce genre.

Ce n'est que depuis que les récentes recherches sur les eaux ont démontré la grande importance des considérations bactériologiques, que la valeur réelle du filtrage a été reconnue, car, antérieurement, on considérait son action comme purement mécanique.

La relation qui existe entre les bactéries et les germes d'infection permet de baser sur le nombre de bactéries existant dans l'eau un critérium de ses conditions hygiéniques, et que l'analyse chimique ne suffisait pas à fournir. Lorsque de l'eau, destinée à l'alimentation d'une ville, est soumise

au filtrage, un contrôle bactériologique continuel est de la plus grande importance et indispensable pour une exploitation scientifique du service. A Berlin ce contrôle est exercé par l'Institut d'hygiène sous la direction du conseiller intime, le Dr Koch. A Varsovie, ce contrôle est fait par le bactériologiste bien connu, le Dr Bujwid; mais lorsqu'on ne considère pas spécialement le côté bactériologique, c'est Londres qui possède le plus ancien et le plus important établissement de contrôle des conditions hygiéniques de l'eau livrée à la consommation.

Les tableaux I et II (pages 35 et 36) montrent les résultats des analyses bactériologiques de l'eau avant et après filtrage, obtenus aux filtres de Varsovie et de Berlin; on y constate qu'une bonne filtration est capable de réduire à une quantité insignifiante le nombre de micro-organismes existant dans l'eau.

Comme terme de comparaison, on peut dire que l'eau de source la plus pure contenant, par centimètre cube, jusqu'à 20 germes susceptibles de propagation;

La limite adoptée autrefois pour l'eau potable en Allemagne était de 300 germes susceptibles de propagation.

Maintenant, après les expériences du service des eaux à Berlin, on a adopté comme limites :

a. Pour l'eau fraîchement filtrée 50 et au maximum 150 germes susceptibles de propagation;

b. Pour l'eau qui se trouve dans les tuyaux de distribution, au maximum 300 germes susceptibles de propagation.

Les chiffres concernant la ville de Berlin sont empruntés au travail du Dr Koch; ceux qui regardent Varsovie ont été obligeamment fournis par le Dr Bujwid.

Ces observations bactériologiques démontrent également que l'eau, après filtration, *doit être livrée aussi vite que possible* à la consommation. Tout délai est nuisible et doit être évité.

La partie de ce travail qui avait pour objet l'importance de l'*utilisation de l'eau des fleuves et des cours d'eau pour l'alimentation des villes*, se termine avec la livraison de l'eau filtrée dans le réservoir d'eau pure; le reste est du domaine de la *conduite des eaux*. Je me bornerai donc ici à produire quelques observations importantes :

Principes fondamentaux d'un service d'alimentation d'eau. — Un service d'alimentation doit avoir pour principe de fournir l'eau pour tous les besoins en *larges* quantités et à *bas prix*, d'activer la consommation (l'usage), mais d'éviter l'*abus* (gaspillage).

Consommation par habitant. — La quantité moyenne livrée à la consommation dans des villes bien alimentées et canalisées varie par tête et par jour, entre 70 et 140 litres, et on peut l'estimer en général, dans les villes canalisées, par tête et par jour, de 100 à 120 litres.

La consommation moyenne en été est de 40 à 50 pour 100 plus élevée et sera donc, par tête et par jour, de 140 à 180 litres.

De même la consommation *maxima*, par heure, est de 40 à 50 pour 100 plus élevée que la consommation moyenne, par heure des jours d'été, elle peut être évaluée, par tête et par heure, de 8 à 12 litres.

Le développement considérable du service des eaux dans les villes américaines a fourni des chiffres qui varient dans des limites autrement grandes et s'élèvent quelquefois au double et au triple des précédents.

Conditions de compensation. — Comme il a été déjà dit, la compensation entre l'alimentation régulière de l'installation de la prise d'eau et du filtrage et la consommation variable de la ville s'établit au moyen du réservoir d'eau claire.

Jusqu'à ce réservoir toutes les installations doivent être suffisantes pour la consommation moyenne d'été; *au delà* elles doivent correspondre au maximum par heure, c'est-à-dire qu'elles doivent être en mesure de fournir de 40 à 50 pour 100 en plus.

Par conséquent, lorsque l'emplacement de la prise d'eau et la station de filtrage sont éloignés de la ville, il est utile de placer le réservoir (qui sert à établir la compensation) près de la ville, et alors il suffit d'établir les longs tuyaux d'alimentation et les conduites principales pour la consommation moyenne des jours d'été. Si le terrain permet de construire à une altitude élevée le réservoir de compensation, il suffit aussi que les machines puissent satisfaire à la consommation moyenne de l'été, c'est-à-dire que leur force peut être réduite aux deux tiers de ce qu'elle serait autrement.

Chutes naturelles et force hydraulique. — On emploiera autant que possible la force d'une chute naturelle pour obtenir la pression nécessaire à la distribution de l'eau dans la ville. Le fait que les installations destinées à l'alimentation des villes fonctionnent d'une manière continue, donne à l'emploi de la force hydraulique une valeur toute spéciale.

Pression. — La pression qui sert à distribuer l'eau dans la ville doit suffire pour approvisionner les étages supérieurs et pour commander les toits des maisons; cette pression doit être constante.

La pression nécessaire dépend du type de constructions existant dans la ville; en général elle doit correspondre à une hauteur minima de 25 à 30 mètres au-dessus du niveau de la rue, on donne une pression plus forte correspondant à 40 ou 50 mètres lorsqu'on peut disposer d'une pente naturelle ou de forces hydrauliques à bon marché; on ne peut pas cependant dépasser cette limite sans s'exposer à des pertes d'eau et à des difficultés d'installation. Lorsque l'eau est élevée artificiellement, il ne convient pas de chercher à obtenir, pour le service des incendies, une pression dépassant de beaucoup celle qui est nécessaire pour l'alimentation des maisons, car les dépenses supplémentaires d'élévation de l'eau dépasseraient celles qui correspondraient à l'acquisition de pompes à incendie à vapeur.

Lorsque, dans une ville, il se présente pour de grandes étendues de grandes différences de hauteur, il convient d'établir différentes zones de pression.

Réseaux. — Pour le réseau de distribution dans la ville, le système de circulation a été reconnu le meilleur; il assure les meilleures conditions de pression et le meilleur moyen d'égalisation au moment des demandes locales imprévues. Dans ce système toutes les conduites sont alimentées des deux côtés; de sorte que les interruptions de débit se trouvent limitées aux points où la cause s'en est produite.

Les réseaux des conduites sont divisés en conduites principales et en branchements, ces derniers seuls servent pour desservir les conduites de maisons et les bouches d'incendie; de cette façon les premières servent de principales artères d'alimentation, et sont indépendantes de toutes les opérations et raccordements susceptibles de compromettre la régularité du service.

On doit toujours avoir en vue la nécessité d'augmenter le débit d'un réseau au prix de la moindre modification qu'il est possible et d'après un plan systématique dressé à l'avance. Les frais de première installation, ainsi que les travaux d'agrandissement, sont ainsi diminués, et enfin on s'assure un réseau toujours établi sur des bases rationnelles.

Réservoirs supérieurs. — L'utilité des réservoirs supérieurs a été démontrée en vue d'assurer la régularité de l'alimentation et du fonctionnement du service; il est désirable que leur capacité réponde à la consommation d'une journée; le renouvellement régulier de l'eau dans ces réservoirs doit être assuré, ainsi que sa protection contre les influences extérieures.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

1. Les cours d'eau et les rivières ont une double fonction : la fourniture de l'eau et son écoulement.

2. L'écoulement des eaux est nécessairement accompagné d'une pollution.

3. Au point de vue de la qualité, la meilleure utilisation de l'eau pour l'alimentation des villes consiste à la recueillir avant qu'elle n'ait été exposée à des influences nuisibles.

4. A ce même point de vue la meilleure eau est celle qui provient de sources naturelles ou artificiellement captées, mais on en trouve rarement en quantités suffisantes pour l'alimentation des grandes villes.

5. L'interception des cours d'eau dans les montagnes donne des alimentations excellentes tant au point de vue de la qualité que de la quantité; les territoires favorables à cet emploi devraient être réservés à la fourniture d'eau pour des villes et pour des districts entiers. Il serait désirable que cette matière fût réglée par voie législative.

6. A défaut de ces moyens d'alimentation, on peut sans hésiter recourir à l'eau d'une rivière dont l'état de pureté permet cet emploi.

7. Une telle alimentation est inépuisable; c'est une qualité qui même au point de vue purement sanitaire compense les petites différences qui pourraient exister dans la pureté.

8. L'alimentation générale des maisons doit pleinement répondre, en qualité à toutes les exigences sanitaires, en quantité à tous les besoins domestiques.

9. Un approvisionnement d'eau de rivière non filtrée, pour l'arrosage des rues et des jardins et pour les besoins publics peut venir en aide d'une manière efficace à l'approvisionnement général pendant les mois d'été.

10. Le choix de l'emplacement et de la construction de la prise d'eau dans les rivières est de la plus haute importance.

11. Il est nécessaire de purifier l'eau avant sa distribution à domicile.

12. Le procédé de filtration est un procédé qui tend naturellement à boucher les filtres.

13. Les matières suspendues doivent être retenues absolument et définitivement par la mince couche superficielle du filtre et les matières retenues doivent être enlevées de temps en temps.

14. Les filtres naturels ne répondent pas à cette condition fondamentale.

15. Le meilleur système pour purifier l'eau de rivière destinée à l'alimentation des villes consiste en une combinaison de décantation et de filtration.

16. On doit chercher à réduire autant que possible la durée de la décantation, en apportant des améliorations à la construction des bassins, afin d'en augmenter l'efficacité.

17. Le filtre horizontal de sable représente aujourd'hui le meilleur moyen, et le plus approuvé, pour la filtration de l'eau à grande échelle.

18. Pour bien filtrer l'eau, les filtres doivent fonctionner avec lenteur, égalité et régularité. Ces conditions ne peuvent être remplies que lorsque la surcharge activant chaque filtre se laisse indépendamment régler et se trouve assurée contre toutes influences extérieures.

19. Sur tout son parcours à partir de la prise d'eau jusqu'au point de sa consommation, l'eau doit être assurée contre toute influence souillante et nuisible.

20. Le meilleur moyen d'assurer cette protection à l'eau dans les filtres et dans les bassins de décantation consiste à les envoûter.

21. Une bonne filtration dépend tout autant de la manière d'assurer le fonctionnement des filtres que de leur construction. La formation de la fine couche de vase sur le filtre, le nettoyage, l'évacuation et l'aération des couches filtrantes, demandent une attention toute spéciale.

22. Par une bonne décantation et une bonne filtration, on est en état d'enlever entièrement les matières suspendues, de réduire considérablement les substances d'origine organique en solution, et de diminuer la quantité des micro-organismes à un chiffre insignifiant qui quelquefois ne dépasse pas celui de l'eau de source.

23. Avec ces moyens on peut obtenir d'un cours d'eau, pour peu que ses eaux se prêtent à cet usage, une alimentation salubre et abondante pour les villes qui ne se trouvent pas en état d'obtenir une alimentation fournie par de l'eau de source.

24. Ce sont surtout ces moyens qui rendent possible l'utilisation des cours d'eau et des rivières pour l'alimentation des villes; de cette manière les rivières deviennent des fournisseurs alimentaires de la plus haute importance.

Francfort-sur-le-Mein, 15 juillet 1889.

TABLEAU I

Résultats de l'examen bactériologique de l'eau de la Vistule, avant et après la filtration, dans l'établissement du service des eaux de la ville de Varsovie.

JOUR DE L'ANALYSE.	EAU DE LA VISTULE		
	AVANT FILTRAGE.	APRÈS FILTRAGE.	
	En face la rue Czerniakowska.	Dans la chambre d'eau filtrée.	Dans le réservoir d'eau pure.
	GERMES SUSCEPTIBLES DE PROPAGATION PAR CENTIMÈTRE CUBE.		
1887. 1er septembre	1100	—	54
— 5 octobre	510	58	45
— 4 novembre	1300	—	40
— 5 décembre	2120	—	250
1888. 13 janvier	480	—	25
— 10 février	2200	30	32
— 9 mars	1500	50	462*
— 8 avril	1250	57	90
— 6 mai	165	60	65
— 3 juin	66	12	22
— 6 juillet	360	101	38
— 4 août	1300	260	271
— 2 septembre	150	39	228
— 6 octobre	7700	17	23
— 6 novembre	320	30 10	130
— 8 décembre	2900	—	241
1889. 12 janvier	170	30	10
— 9 février	54 000	406*	1450*
— 9 mars	640	0	0
— 29 —	75 000	70	230
— 8 avril	23 700	—	
— 7 mai	300	27	
— 2 juin	250	2 13	

* Dépassant la limite de 300 germes.

TABLEAU II

Résultats de l'examen bactériologique des eaux de la Sprée et du lac de Tegel avant et après la filtration dans l'établissement des eaux de la ville de Berlin.

JOUR DE L'ANALYSE.	EAU DE LA SPRÉE prise à l'établissement de Stralau.		EAU DU LAC TEGEL prise à l'établissement de Tegel.	
	AVANT FILTRAGE.	APRÈS FILTRAGE.	AVANT FILTRAGE.	APRÈS FILTRAGE.
	GERMES SUSCEPTIBLES DE PROPAGATION PAR CENTIMÈTRE CUBE.		GERMES SUSCEPTIBLES DE PROPAGATION PAR CENTIMÈTRE CUBE.	
1885. 2 juin	5475	42	118	16
— 9 —	7980	22	117	39
— 16 —	6100	33	115	76
— 23 —	6100	41	1325	194
— 30 —	4400	53	880	44
— 7 juillet	3500	28	—	42
— 14 —	7200	200	1896	120
— 21 —	110 740	1656*	13 220	49
— 28 —	2640	54	1500	48
— 4 août	2310	70	900	28
— 11 —	3600	65	1100	434*
— 18 —	1800	36	179	50
— 25 —	11 900	26	4410	21
— 1er septembre	3360	184	600	17
— 8 —	960	1000*	1220	100
— 15 —	4300	44	158	56
— 22 —	9200	44	130	55
— 29 —	1120	30	111	31
— 6 octobre	3192	36	160	24
— 13 —	1204	25	519	29
— 20 —	2178	36	174	18
— 27 —	4840	24	173	10
— 3 novembre	8500	80	128	82
— 10 —	2520	42	250	32
— 17 —	6000	52	60	51
— 24 —	31 500	167	251	78
— 1er décembre	9000	117	65	10
— 8 —	2700	220	440	210
— 15 —	5880	180	1290	1500*
— 22 —	5600	34	86	260
— 29 —	4000	20	149	110
1886. 5 janvier	4500	95	80	38
— 12 —	1400	40	170	12
— 19 —	1100	94	92	36
— 26 —	29 000	100	54	60
— 2 février	20 000	80	13 600	24
— 9 —	5900	7	14	6
— 15 —	1250	10	30	2
— 23 —	1280	8	15	8
— 2 mars	1010	8	57	3
— 9 —	3680	112	225	19
— 16 —	14 400	210	440	70
— 28 —	32 700	145	16 500	66
— 30 —	100 000	2300*	50 000	104

Dépassant la limite de 300 germes.

DE

L'EMPLOI DES EAUX FILTRÉES

PAR LE SABLE DES DUNES, DES BRUYÈRES ET DES TERRAINS SABLONNEUX

POUR

L'ALIMENTATION DES VILLES

DANS LES PAYS-BAS

PAR

M. J.-A.-E. MUSQUETIER
Ingénieur du Waterstaat, à Utrecht.

DE

L'EMPLOI DES EAUX FILTRÉES

PAR LE SABLE DES DUNES, DES BRUYÈRES ET DES TERRAINS SABLONNEUX

POUR

L'ALIMENTATION DES VILLES

DANS LES PAYS-BAS

NOTICE

DE

M. J.-A.-E. MUSQUETIER

Ingénieur du Waterstaat, à Utrecht.

La distribution des eaux dans les villes est un problème hygiénique, technique et financier de haute importance ; hygiénique, parce que la santé des populations dépend en grande partie de la composition de l'eau potable et de la quantité employée ; technique, parce que les installations nécessaires exigent souvent l'art de l'ingénieur, tant pour la recherche et le captage des sources que pour le transport de l'eau vers sa destination ; et financier, parce que la distribution des eaux n'est que fort rarement entreprise au point de vue purement philanthropique, ayant pour but principal de faire prospérer les capitaux engagés et d'assurer aux prêteurs une rente solide et convenable.

Les tableaux ci-après contiennent plusieurs données sur les distributions d'eau dans les Pays-Bas. L'occasion de les publier a été offerte par la bienveillance des directions qui ont bien voulu procurer les renseignements demandés. Ces tableaux donnent lieu à des déductions dont quelques-unes semblent assez remarquables pour être examinées successivement.

L'examen porte sur les distributions d'eau dans les communes d'Amsterdam, de La Haye, d'Utrecht, de Harlem, d'Arnhem, de Leyde, de Maestricht, de Nimègue, de Delft, de Zaanstreek et Beverwyck, de Bois-le-Duc, de Nieuwer-Amstel, du Helder, de Kampen, de Zutphen, d'Alkmaar,

de Flessingue, de Rosendaal, de Hilversum, de Baarn et de Soest, rangées d'après le chiffre de la population au 1er janvier 1889.

En dehors des conduites d'eau mentionnées, il se trouve aux Pays-Bas un nombre considérable de distributions d'eau qui empruntent le liquide aux rivières et aux lacs.

Les communes principales, où l'alimentation se fait de cette manière, sont Rotterdam, Dordrecht, Delfshaven, Schiedam, Gouda, Kralingen, Gorinchem, Sliedrecht, Vlaardingen, Oud-Beyerland, Groningue et Leeuwarden.

A. Description générale.

I. *Désignation du propriétaire de la conduite d'eau et de l'exploitant.*

Amsterdam	La Compagnie des eaux des dunes à Amsterdam.
La Haye	La commune.
Utrecht	La Compagnie des eaux d'Utrecht.
Harlem	La Compagnie des eaux des dunes à Amsterdam.
Arnhem	La Compagnie des eaux d'Arnhem.
Leyde	La Compagnie des eaux des dunes de Leyde.
Maestricht	La Compagnie des eaux à Rotterdam.
Nimègue	La commune.
Delft	La commune.
Zaanstreek et Beverwyck	La Compagnie d'exploitation de conduites d'eau aux Pays-Bas, à Amsterdam.
Bois-le-Duc	La commune.
Nieuwer-Amstel	La commune.
Helder	La Compagnie des eaux des dunes du Helder et de Nieuwediep.
Kampen	La commune.
Zutphen	La Compagnie des eaux à Rotterdam.
Alkmaar	La Compagnie d'exploitation de conduites d'eau aux Pays-Bas, à Amsterdam.
Flessingue	La Compagnie des eaux des dunes à Flessingue.
Hilversum	La Compagnie des eaux d'Utrecht.
Rosendaal	La Compagnie des eaux à Rotterdam.
Baarn et Soest	La Compagnie des eaux d'Utrecht.

Des vingt conduites d'eau examinées, six sont exploitées par les communes, les autres par des compagnies.

Dans toutes les communes, le propriétaire est en même temps l'exploitant. Les actes de concessions, accordés par les communes aux compagnies, contiennent les conditions qui déterminent la durée de l'exploitation, les tarifs maximum et la distribution régulière de l'eau.

La compagnie qui fournit l'eau à Amsterdam utilise la même installation pour Harlem; de même Hilversum, Baarn, Soest et de Bilt sont administrées par la même installation qu'Utrecht.

II. *Population au 1er janvier 1889.*

Amsterdam	400 000 h.	Bois-le-Duc	27 000 h.
La Haye	153 000	Nieuwer-Amstel	24 000
Utrecht	83 000	Helder	22 000
Harlem	51 000	Kampen	19 000
Arnhem	49 000	Zutphen	16 000
Leyde	46 000	Alkmaar	15 000
Maestricht	32 000	Flessingue	12 000
Nimègue	32 000	Hilversum	12 000
Delft	28 000	Rosendaal	10 000
Zaanstreek et Beverwyck	28 000	Baarn et Soest	9 000

1 068 000 habitants, soit plus d'un quart de la population du royaume, sont alimentés par les conduites d'eau des dunes ou des bruyères ou dans leur voisinage et peuvent ainsi être pourvus d'eau potable. En y joignant les communes qui tirent l'eau de rivières ou de lacs, on arrive à un tiers de la population.

III. *Noms des ingénieurs qui ont projeté, construit ou agrandi les conduites d'eau.*

Amsterdam	Ingénieurs C. D. Vaillant, B. W. Croker et Jos. Quick.
La Haye	Ingénieur J. Waldorp.
Utrecht	— H. Doat.
Harlem	Ingénieurs C. D. Vaillant, B. W. Croker et Jos. Quick.
Arnhem	Ingénieur H. P. N. Halbertsma.
Leyde	Ingénieurs A. de Gens et C. J. van Spull.
Maestricht	Ingénieur H. Grünes et architectes van Wyk et Hooendyk.
Nimègue	Ingénieurs J. et W. F. Payens.
Delft	Ingénieur N. Biezeveld H. Kz.
Zaanstreek et Beverwyck	— D. de Leeuw.
Bois-le-Duc	— J. Kulff.
Nieuwer-Amstel	— H. P. N. Halbertsma.
Helder	Ingénieurs J. M. van der Made et C. J. van Spull
Kampen	— K. de Vidal de Saint-Germain et D. Drost.
Zutphen	Architectes van Wyk et Hoogendyk.
Alkmaar	Ingénieur D. de Leeuw.
Flessingue	— J. Grüber.
Hilversum	— H. Doat.
Rosendaal	Architectes van Wyk et Hoogendyk.
Baarn et Soest	Ingénieur H. Doat.

Sauf quelques exceptions, dues à l'active intervention de la compagnie des eaux de Liège et d'éléments anglais à Amsterdam, toutes les conduites d'eau ont été construites ou complétées par des ingénieurs Néerlandais.

IV. *Date du commencement de l'exploitation.*

Amsterdam	1853	Bois-le-Duc	1887
La Haye	1874	Nieuwer-Amstel	1888
Utrecht	1883	Helder	1856
Harlem	1853	Kampen	1889
Arnhem	1884	Zutphen	1889
Leyde	1878	Alkmaar	1885
Maestricht	1887	Flessingue	1884
Nimègue	1879	Hilversum	1886
Delft	1887	Rosendaal	1887
Zaanstreek et Beverwyck	1886	Baarn et Soest	1885

La province de la Hollande septentrionale, ayant à sa tête la capitale du royaume, a donné l'exemple de la construction de conduites d'eau. Le besoin d'une bonne eau potable se faisait souvent sentir. L'eau de pluie et l'eau importée des environs, ne pouvait satisfaire aux exigences d'une population croissante. La conduite d'eau Amsterdam-Harlem est la plus ancienne et existe depuis trente-six ans; les plus jeunes sont celles de Kampen et de Zutphen, ouvertes en 1889.

Plus d'un quart de siècle s'est écoulé, avant que l'exemple des villes de la Hollande septentrionale fût suivi par d'autres communes; 2 des conduites d'eau examinées n'ont pas plus de dix ans d'existence, 12 ne sont en exploitation que depuis cinq ans ou moins.

V. *Désignation des sources auxquelles l'eau est empruntée et de la distance du centre de la commune à laquelle se trouve la prise d'eau.*

Amsterdam	A un système de canaux dans les dunes près de Harlem, long. 24 159^{m}; 24^{km}.
La Haye	Aux dunes près de Scheveningue; 4^{km}.
Utrecht	A la bruyère près de la station Soest; 15^{km}.
Harlem	A un système de canaux dans les dunes, long. 24159^{m}; 7^{km}.
Arnhem	A cinq puits dans le Broek d'Arnhem; 1^{km}.
Leyde	Aux dunes près de Katwyck; 6^{km}.
Maestricht	Au bassin de la vallée de la Meuse; 600^{m}.
Nimègue	A trois puits; 500^{m}.
Delft	Aux dunes de Delfland, près de Monster; 15^{km}.
Zaanstreek et Beverwyck	Aux dunes près de Wyckaan-Zee; 19^{km}.
Bois-le-Duc	Aux bruyères près de Rosmalen et de Nuland; 7^{km}.
Nieuwer-Amstel	Aux terrains sablonneux près de Hilversum; 27^{km}.
Helder	Aux dunes près de Huisduinen; 5^{km}.
Kampen	A la bruyère près de Wezep; 14^{km}.
Zutphen	A des sources.
Alkmaar	Aux dunes près de Bergen; 7^{km}.
Flessingue	Aux dunes entre Zoutelande et Flessingue; 8^{km}.
Hilversum	A la bruyère près de la station Soest; 12^{km}.

Rosendaal.	A la bruyère.
Baarn et Soest.	A la bruyère près de la station Soest; 7^{km}.

La distance de la prise d'eau au centre des communes est très variable, entre 1/2 et 27 kilomètres.

L'expérience montre que dans ces limites une alimentation convenable est assurée et qu'une grande distance ne cause pas d'inconvénients et n'exige pas de précautions particulières.

VI. *Indication des opérations subies par l'eau avant son utilisation.*

Amsterdam.	Filtrage au sable.
La Haye.	—
Utrecht.	—
Harlem.	—
Arnhem.	Néant.
Leyde.	Filtrage sur des coquilles.
Maestricht.	Néant.
Nimègue.	Néant.
Delft.	Filtrage sur de l'alumine à l'acide sulfurique concentré.
Zaanstreek et Beverwyck. . .	Filtrage sur coquilles et gravier.
Bois-le-Duc.	Filtrage au sable.
Nieuwer-Amstel.	Néant.
Helder.	Néant.
Kampen.	Néant.
Zutphen.	Filtrage sur coquilles et gravier.
Alkmaar.	Filtrage au sable.
Flessingue.	—
Hilversum.	—
Rosendaal.	Filtrage sur coquilles et gravier.
Baarn et Soest.	Filtrage au sable.

En général on n'emploie pour la filtration que le sable; rarement on fait usage de coquilles ou de gravier.

Des substances chimiques ne sont appliquées que dans un cas spécial pour décolorer l'eau provenant de terrains tourbeux.

VII. *Examen ou analyse chimique subis par l'eau avant sa livraison.*

Amsterdam.	Analyse chimique régulière.
La Haye.	— —
Utrecht.	Néant.
Harlem.	Analyse chimique régulière.
Arnhem.	— —
Leyde.	— —
Maestricht.	Analyse chimique faite irrégulièrement.
Nimègue.	Analyse chimique et examen microscopique réguliers.
Delft.	— — irréguliers.

Zaanstreek et Beverwyck. . .	Analyse chimique et examen microscopique réguliers.
Bois-le-Duc.	— — —
Nieuwer-Amstel.	— — —
Helder.	— — —
Kampen.	Néant.
Zutphen.	Analyse chimique et examen microscopique réguliers.
Alkmaar.	Néant.
Flessingue.	Analyse chimique et examen microscopique réguliers.
Hilversum.	Néant.
Rosendaal.	Analyse chimique et examen microscopique réguliers
Baarn et Soest.	Néant.

L'analyse chimique de l'eau se fait régulièrement dans la plupart des cas. En huit cas, l'eau est examinée microscopiquement.

VIII. *Analyse chimique des eaux. Indication des matières étrangères contenues dans un litre d'eau.*

AMSTERDAM.

	Après la filtration :
Silice.	0.0220gr
Oxyde de fer et alumine.	0.0008
Sulfate de chaux.	0.0510
Carbonate de chaux.	0.1501
— de magnésie.	0.0096
Chlorure de sodium.	0.0682

LA HAYE.

	Avant la filtration :	*Après la filtration :*
Matières solides.	0.3460gr	»
— organiques.	0.0360	0.0180gr
Chlorure de sodium.	0.0460	0.0510
Ammoniaque.	0.0008	0.0003
Quantités minimes de nitrates.		

UTRECHT.

	Après la filtration :
Matières solides.	0.035gr
Chaux.	Traces.
Quantités minimes de sulfates.	

HARLEM.

Voyez Amsterdam.

ARNHEM.

	Pas de filtration.
Chlore.	0.0142gr
Acide sulfurique.	Quantités minimes.
Acide carbonique.	0.0210gr
— phosphorique.	Traces.
Silice.	—
Oxyde de fer.	—
Alumine.	—

LEYDE.

	Avant la filtration :	*Après la filtration :*
Matières solides	0.326gr	0.320gr
— minérales	0.242	0.226
Chaux	0.126	0.127
Acide sulfurique	0.035	0.038
Ammoniaque	0.00025	

MAESTRICHT.

	Pas de filtration.
Matières solides	0.3540gr
— organiques	0.0174
Acide nitreux	Quantités minimes.
— nitrique	0.00844gr
Chlore	0.01065

NIMÈGUE.

	Pas de filtration.
Matières solides	0.4140gr
Chlore	0.0547
Acide sulfurique	0.0387
Chaux	0.0970

DELFT.

	Après la filtration.
Matières solides	0.4000gr
Chaux	0.1200
Chlore	0.0600
Acide sulfurique	0.0600
— nitrique	0.0400

ZAANSTREEK ET BEVERWYCK.

	Avant et après la filtration :
Matières solides	0.2920gr
— minérales	0.2020
Chlore	0.0490

BOIS-LE-DUC.

Renseignements manquent.

NIEUWER-AMSTEL.

	Pas de filtration.
Matières solides	0.0420gr
Silice	0.0047
Oxyde de fer et alumine	0.0004
Sulfate de chaux	0.0017
Carbonate de chaux	0.0021
— de magnésie	0.0004
Chlorure de sodium	0.0278

HELDER.

	Pas de filtration.
Matières solides	0.240gr
Sulfate de chaux	0.057

Carbonate de chaux	0.074
Chlorure de sodium	0.080
Carbonate de magnésie	0.010
Oxyde de fer	0.009

KAMPEN.

Pas de filtration.

Renseignements manquent.

ZUTPHEN.

Renseignements manquent.

ALKMAAR.

Renseignements manquent.

FLESSINGUE.

	Avant la filtration :	*Après la filtration :*
Matières solides	0.320gr	0.296gr
Chaux	0.119	0.107
Magnésie	»	0.0095
Acide sulfurique	»	0.0225
Chlore	0.030gr	0.028

HILVERSUM.

Voyez Utrecht.

ROSENDAAL.

Renseignements manquent.

BAARN ET SOEST.

Voyez Utrecht.

L'eau de toutes les conduites est sans odeur, bonne de goût, sauf une seule exception, parfaitement pure, exempte de nitrates et de compositions ammoniacales, plus ou moins dure et répond, selon les résultats de l'analyse chimique, aux conditions que l'on croit devoir imposer à l'eau potable.

B. Particularités techniques.

IX. *Capacité de la conduite d'eau en mètres cubes dans les vingt-quatre heures.*

Amsterdam		Bois-le-Duc	6900mc
La Haye	4000mc	Nieuwer-Amstel	3200
Utrecht	10000	Helder	1600
Harlem		Kampen	2000
Arnhem	3300	Zutphen	2000
Leyde	8000	Alkmaar	2400
Maestricht	5000	Flessingue	720
Nimègue	3000	Hilversum	Voyez Utrecht.
Delft	1700	Rosendaal	800mc
anstreek et Beverwyck	8000	Baarn et Soest	Voyez Utrecht.

La capacité des conduites d'eau dans les diverses communes n'est pas

proportionnelle à la population; elle ne dépend non plus de la force motrice disponible ou de la consommation probable, mais semble être assez arbitraire dans la majorité des cas.

X. *Quantité d'eau utilisée par vingt-quatre heures :* a. *en totalité;* b. *par habitant.*

	a.	*b.*
Amsterdam	22 226$^{m^3}$	47^{lit}.
La Haye	9 700	63
Utrecht	1 700	21
Harlem	Voyez Amsterdam.	
Arnhem	666$^{m^3}$	13^{lit}.
Leyde	1 500	32
Maestricht	500	16
Nimègue	2 000	63
Delft	280	10
Zaanstreek et Beverwyck	270	10
Bois-le-Duc	440	12
Nieuwer-Amstel	»	»
Helder	110	5
Kampen	»	»
Zutphen	»	»
Alkmaar	250	16
Flessingue	240	15
Hilversum	2	1
Rosendaal	350	40
Baarn et Soest	738	82

La consommation d'eau dans les communes varie énormément, de 1 à 82 litres par tête et par jour. Elle dépend de circonstances locales en rapport avec la nature de la population et sa prospérité et avec la constitution hydrographique du terrain.

A Amsterdam, où presque la totalité de la population fait usage de l'eau des dunes, la consommation est de 47 litres.

A Nimègue, le prix est minime et la consommation s'élève jusqu'à 63 litres. A Baarn et Soest, la consommation atteint le maximum de 82 litres, quoique le prix soit assez élevé. La quantité considérable employée pour l'irrigation des terrains de plaisance explique ce chiffre.

A Hilversum, l'emploi de l'eau est très restreint et la consommation n'est que de 1 litre, chiffre minimum. A Flessingue, la population fait usage de l'eau de pluie; l'eau des dunes est employée principalement pour des usages industriels; la consommation est de 15 litres.

Le prix ne détermine pas absolument la quantité consommée. Les moyens et la nature des populations, l'existence d'entreprises industrielles et la disponibilité d'eau provenant d'autres sources, sont des éléments importants de la consommation.

En général, la consommation augmente régulièrement à mesure que

l'exploitation se prolonge et que la population se pénètre davantage de l'utilité des conduites. Dans toutes les communes la capacité des conduites d'eau est de beaucoup supérieure à la consommation, de sorte que sous ce rapport l'avenir ne présente pas de difficultés.

XI. *Surface à laquelle l'eau est empruntée.*

Amsterdam.	5 000ha	Bois-le-Duc.	»
La Haye	800	Nieuwer-Amstel.	»
Utrecht.	»	Helder.	6ha
Harlem.	V. Amsterdam.	Kampen.	»
Arnhem.	»	Zutphen.	6
Leyde.	560ha	Alkmaar.	6
Maestricht.	»	Flessingue.	32.5
Nimègue.	»	Hilversum.	»
Delft.	»	Rosendaal.	20
Zaanstreek et Beverwyck.	28	Baarn et Soest.	»

Quelques directions n'ont pas pu répondre d'une manière satisfaisante à cette question. Comme plusieurs données manquent, il semble risqué de tirer des conséquences des chiffres mentionnés.

Les observations, qui seules pourraient donner des renseignements méritant de la confiance, font défaut.

Le chiffre de Flessingue est déduit de recherches scientifiques sérieuses.

Les données pour Amsterdam et Leyde semblent correctes.

XII. *Force en chevaux des machines employées.*

Amsterdam.	432	Bois-le-Duc.	53
La Haye.	180	Nieuwer-Amstel.	125
Utrecht	70	Helder.	20
Harlem.	V. Amsterdam.	Kampen.	48
Arnhem.	100	Zutphen.	28
Leyde.	50	Alkmaar.	70
Maestricht.	45	Flessingue.	36
Nimègue.	72	Hilversum.	Voyez Utrecht.
Delft.	20	Rosendaal.	20
Zaanstreek et Beverwyck.	88	Baarn et Soest	Voyez Utrecht.

On ne saurait déduire des chiffres mentionnés un rapport logique entre la force motrice disponible, l'élévation de l'eau et la capacité des conduites ou bien l'eau utilisée.

Probablement pour quelques conduites d'eau la force motrice de la machine à vapeur est plus considérable que les exigences de la consommation au commencement de l'exploitation.

(Un cheval-vapeur est la force motrice nécessaire pour élever 4,5 mètres cubes d'eau à une hauteur de 1 mètre dans une minute.)

XIII. *Altitude à laquelle l'eau est élevée :* a. *à la prise d'eau;* b. *dans la commune.* (Ces altitudes sont rapportées au zéro des échelles du port d'Amsterdam : *Amsterdamsch Peil*).

	a.	*b.*
Amsterdam	50m	20m
La Haye	30	18 à 28m
Utrecht	56	56m
Harlem	Voyez Amsterdam.	
Arnhem	55m	
Leyde	26	20m
Maestricht	50	
Nimègue	70	50
Delft	32	32
Zaanstreek et Beverwyck	28	25
Bois-le-Duc		
Nieuwer-Amstel	76	40
Helder	22	20
Kampen	37	
Zutphen		
Alkmaar	40	20 minimum.
Flessingue	60	27
Hilversum	Voyez Utrecht.	
Rosendaal	30m	22m
Baarn et Soest	Voyez Utrecht.	

La différence d'altitude, à laquelle l'eau est élevée à la prise d'eau et dans la ville, est très inégale pour les diverses conduites d'eau et varie entre 0 et 36 mètres.

A Utrecht, par exemple, l'altitude de 56 mètres serait atteinte tant à la prise d'eau que dans la ville. Probablement on n'a pas compté avec des circonstances qui exigeraient des recherches plus approfondies, pour lesquelles l'occasion a manqué, vu le peu de temps disponible pour la composition de cette notice.

C. Etats financiers.

XIV. *Montant total des frais de construction au 1er janvier* 1889.

Amsterdam	7 900 000 florins.	Bois-le-Duc	345 000 florins.
La Haye	2 386 000	Nieuwer-Amstel	640 000
Utrecht	1 228 000	Helder	210 000
Harlem	V. Amsterdam.	Kampen	351 500
Arnhem	842 000 florins.	Zutphen	»
Leyde	750 000	Alkmaar	247 700
Maestricht	»	Flessingue	139 000
Nimègue	292 000	Hilversum	71 500
Delft	567 500	Rosendaal	»
Zaanstreek et Beverwyck	552 000	Baarn et Soest	560 00

Les frais de construction dépendent de beaucoup d'éléments, tels que la surface et la valeur des terrains occupés, les installations à la prise d'eau. la force motrice nécessaire, la longueur des conduites, etc.; qui, tous variables, ne sont point proportionnels à la population.

Par conséquent une comparaison des frais de construction des différentes conduites d'eau n'aurait pas de valeur pratique.

XV. *Mode de distribution de l'eau :* a. *par abonnement*; b. *par tarif de chambre ;* c. *par une surface ;* d. *par prix de location ;* e. *par hydromètre.*

Amsterdam.		*b*			*e*	fl. 0.10 à	fl. 0.15	par m. c.
La Haye..				*d*	*e*			
Utrecht.	*a*		*c*		*e*	0.10 à	0.66	—
Harlem.		*b*			*e*	0.10 à	0.15	—
Arnhem.	*a*	*b*	*c*		*e*	0.10 à	0.40	—
Leyde..		*b*			*e*			
Maestricht.	*a*	*b*	*c*		*e*	0.06 à	0.50	—
Nimègue.	*a*	*b*	*c*		*e*	0.03 à	0.10	—
Delft, ...	*a*		*c*	*d*	*e*			
Zaanstreek et Beverwyck.	*a*	*b*			*e*	0.12 à	0.50	—
Bois-le-Duc.	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	0.03 à	0.25	—
Nieuwer-Amstel.		*b*			*e*			
Helder.		*b*			*e*			
Kampen.		*b*			*e*	0.08 à	0.12	—
Zutphen.								
Alkmaar..	*a*	*b*			*e*			
Flessingue..		*b*			*e*	0.20 à	0.40	—
Hilversum.	*a*		*c*		*e*	0.10 à	0.66	—
Rosendaal.								
Baarn et Soest.	*a*		*c*		*e*	0.10 à	0.66	—

Les tarifs ne sont pas les mêmes pour toutes les communes. Quant à a distribution par mètre cube, noté par le compteur ou hydromètre, le prix varie de fl. 0,03 à fl. 0,66, et dépend en général de la quantité consommée dans une certaine période.

Supposant un développement continu et un accroissement régulier de la population, on sera forcé, sans mettre des entraves à une distribution utile, de veiller à ce que l'eau ne soit pas gaspillée. Ce but sera atteint en distribuant l'eau exclusivement par compteurs, avec des tarifs maximum et minimum, en rapport avec la quantité employée dans une certaine période.

A cette méthode de distribution, qui semble la seule rationnelle, appartient, à mon avis, l'avenir.

XVI. *Revenu brut, frais d'exploitation et dividende en* 1888.

	Revenu brut.	Frais d'exploitation.	Dividende.
Amsterdam.	995 600 flor.	517 650 flor.	9 1/8 0/0
La Haye.	307 000	237 000	
Utrecht.	113 700	28 950	5 0/0
Harlem..	V. Amsterdam.	V. Amsterdam.	V. Amsterdam.
Arnhem.	35 500 flor.	14 200 flor.	2 0/0
Leyde.	90 000	40 000	6 1/2 0/0
Maestricht.	3 400	5 225	
Nimègue..	40 600	32 450	
Delft			
Zaanstreek et Beverwyck. .	18 150	11 500	2 1/2 0/0
Bois-le-Duc.	6 700	28 000	
Nieuwer-Amstel.			
Helder.	16 900	5 600	5 0/0
Kampen.			
Zutphen.			
Alkmaar.	13 800	5 060	
Flessingue.	25 450	8 200	5 0/0
Hilversum.	7 500	Voyez Utrecht.	5 0/0
Rosendaal.			
Baarn et Soest.	6 100	Voyez Utrecht.	5 0/0

La proportion entre le revenu brut et les frais d'exploitation est très variable. Sous ce rapport Utrecht, Helder et Flessingue semblent être dans des conditions favorables.

Le dividende moyen des entreprises de distribution d'eau aux Pays-Bas est de 5 pour 100. A Amsterdam ce chiffre monte à 9 1/8 pour 100, mais les frais de construction ont été couverts en grande partie par des emprunts à 4 pour 100, de sorte que le capital en actions est relativement petit, ce qui explique le chiffre élevé du dividende.

Comme conclusion générale de ce qui est communiqué dans cette notice, on constate qu'une ville peut se procurer une bonne eau potable si dans son voisinage, ou même à quelques lieues de distance, se trouvent des terrains sablonneux, propres à l'infiltration de l'eau.

Utrecht, 31 mai 1889

DU MEILLEUR MODE

DE

LIVRAISON DE L'EAU

A DOMICILE

PAR

M. BECHMANN
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.

DU MEILLEUR MODE

DE

LIVRAISON DE L'EAU

A DOMICILE

RAPPORT

DE

M. BECHMANN

Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Paris.

Dans plus d'une grande ville, à défaut des puits ou des citernes qui ne constituent souvent que de médiocres ressources, les habitants, pour se procurer de l'eau à domicile, ont dû recourir aux *porteurs d'eau*, qui allaient la puiser soit au cours d'eau voisin, soit à quelque source ou même aux fontaines publiques. C'était jadis l'unique système appliqué à Paris; et la génération actuelle peut se rappeler encore la file des petits tonneaux à bras qui venaient s'aligner chaque matin aux abords des *fontaines marchandes* pour y recevoir l'eau de Seine plus ou moins bien filtrée au prix de 1 franc le mètre cube, ainsi que le robuste enfant de l'Auvergne qui la portait ensuite aux clients du quartier à raison de 10 centimes la *voie*, c'est-à-dire les deux seaux de 15 litres.

Quelques privilégiés seulement recevaient l'eau dans la maison même, grâce aux *concessions* dont ils avaient obtenu la jouissance à prix d'argent ou en échange de quelque service rendu par un membre de la famille. Comme au temps de l'ancienne Rome, ces concessions étaient desservies par des conduites distinctes reliées séparément au *château d'eau* le plus rapproché.

Quelle est aujourd'hui la ville digne de ce nom qui se contenterait d'un pareil système d'alimentation, et qui n'ait ou ne veuille avoir une *distribution d'eau* se prêtant à un *mode de livraison de l'eau à domicile* infiniment plus commode et beaucoup moins dispendieux?

Une *conduite publique* court, en général, sous le sol de la rue, devant les façades des maisons, et il suffit d'y raccorder au passage un embran-

chement pour alimenter chaque immeuble *abonné :* la pression se charge de faire parvenir l'eau dans toutes les parties des appartements, à tous les étages, par l'intermédiaire d'une canalisation qui la met autant que possible immédiatement à la portée du consommateur.

Néanmoins on distingue plusieurs modes de livraison de l'eau à domicile. Si tous ont bien pour point de départ commun la distribution d'eau publique fournissant l'eau en pression, ils diffèrent quand même assez notablement entre eux pour que la préférence accordée à l'un ou à l'autre ait une influence considérable sur le régime général de l'alimentation d'une ville en eau potable. Tantôt l'eau arrive dans les maisons *par intermittences*, à certaines heures du jour ou même à certains jours de la semaine; tantôt elle y coule d'une manière constante et ininterrompue. Ici on ne peut l'avoir qu'à des moments déterminés, en quantité limitée; là au contraire elle est toujours disponible sans limitation du débit.

Parmi ces divers modes de livraison quel est le meilleur? Telle est la question que le Comité d'organisation du Congrès pour l'utilisation des eaux a cru devoir poser et qui fait l'objet du présent rapport.

Bien qu'elle n'ait pas donné lieu à des discussions retentissantes, on peut dire que cette question a sans aucun doute une importance pratique; dans beaucoup de villes elle est à l'ordre du jour, et l'on hésite encore sur le parti à prendre dans plus d'un cas. Comme on l'a tranchée de façon différente suivant les localités et les pays, il peut y avoir intérêt à la traiter dans une réunion internationale où les opinions les plus divergentes seront sans doute produites et défendues, et où il sera possible de prendre des conclusions générales dûment motivées, après un examen comparatif suffisamment complet et une discussion approfondie.

Pour juger du mérite relatif des systèmes en présence, il importe de définir tout d'abord les résultats qu'on doit se proposer d'obtenir. Il est évident, en effet, qu'une définition claire et précise, admise par tous d'un commun accord, serait un excellent terme de comparaison, un *criterium*, destiné à faciliter singulièrement la conduite de la discussion.

Or, quand il s'agit de livrer dans une maison l'eau de la distribution publique, deux intérêts se trouvent nécessairement en présence : d'une part, celui du *consommateur*, qui demande la faculté de jouir de l'eau en tout temps, dans toutes les parties de l'habitation, sans peine et sans effort, qui veut la trouver toujours à sa portée en quantité suffisante et douée des qualités requises pour l'usage auquel il la destine; d'autre part, celui du *fournisseur*, municipalité, compagnie ou particulier, qui se propose d'obtenir un produit rémunérateur, et à cet effet cherche à réduire les dépenses et à se garantir contre les chances de pertes.

Le meilleur système sera sans aucun doute celui qui satisfera également bien ces deux intérêts, ou, si cette conception idéale n'est pas réalisable, celui qui s'en rapprochera le plus, et présentera pour le con-

sommateur et pour le fournisseur tout à la fois la plus grande somme d'avantages.

C'est à ce dernier point de vue qu'on doit se placer, car les deux intérêts en présence sont parfois contradictoires : si l'on admet par exemple une pression constante dans les conduites afin que le consommateur trouve toujours l'eau à sa disposition, on augmente par contre les pertes par les fuites inévitables de la canalisation, au détriment du fournisseur; de même, si l'abonné a le droit de puiser l'eau quand il en a besoin en telle quantité qu'il peut le désirer, on conçoit que la consommation éprouvera des variations considérables, et que les sections des tuyaux devront être suffisantes au moment du maximum, c'est-à-dire bien supérieures à celles qui correspondraient au débit moyen, d'où une augmentation sensible des dépenses de premier établissement.

Comme en toutes choses la perfection absolue serait ici une utopie, et il faut savoir se contenter d'un à-peu-près.

Cela posé, nous sommes en mesure de juger le fort et le faible de chacun des systèmes en usage; et, pour faire un choix judicieux, il convient de les passer successivement en revue.

I. En premier lieu, nous trouvons celui qui a pour base la *livraison intermittente.*

Le consommateur ne reçoit l'eau qu'à certains moments déterminés : les agents du fournisseur viennent à intervalles réguliers manœuvrer les robinets d'alimention, les laissent ouverts pendant une période dont la durée est réglée d'avance, puis les referment quand le temps du service est écoulé.

Il convient de remarquer, en passant, que ce mode de livraison de l'eau dans les maisons ne suppose pas nécessairement une distribution d'eau intermittente, et qu'on pourrait le réaliser en laissant l'eau toujours en pression dans les conduites publiques et opérant l'ouverture et la fermeture successives des robinets des branchements particuliers. Mais il en résulterait une complication telle qu'en fait on ne procède point de la sorte : les robinets des abonnés restent ouverts et la canalisation publique est subdivisée en un certain nombre de petits réseaux auxquels on donne et on retire l'eau chacun à leur tour. Dès lors la majeure partie des conduites publiques restent vides ou plutôt sans pression pendant des heures entières : s'il survient un incendie, les pompiers n'ont pas l'eau à leur disposition; il faut chercher les fontainiers, ouvrir les gros robinets qui commandent les réseaux intéressés, et attendre encore que l'eau se mette peu à peu en pression dans les conduites au fur et à mesure du remplissage des réservoirs placés dans les maisons abonnées! Pour donner une idée du défaut de sécurité qui en résulte, il suffira de rappeler qu'à Manchester les pertes par le feu ont été réduites de 21 à 7 pour 100 de la valeur des immeubles atteints, par suite de la substitution du service constant au service inter-

mittent. Ajoutons que, dans les conduites où l'eau est souvent sans pression, il peut se produire des infiltrations fâcheuses; rien n'empêche les liquides ou les gaz, avec lesquels ces conduites se trouvent en contact, d'y pénétrer par les défectuosités des joints et d'en venir contaminer le contenu.

Outre ces inconvénients généraux, conséquence de la distribution intermittente dans l'ensemble du réseau urbain, il y a des inconvénients spéciaux inhérents à la fourniture intermittente de l'eau dans les maisons.

Pour le consommateur, le débit se trouve limité par le temps durant lequel le branchement est alimenté; il n'a point le moyen de se procurer à certains moments les suppléments qui peuvent être nécessaires pour répondre à quelque besoin exceptionnel. D'autre part, comme il ne saurait utiliser l'eau précisément à l'heure où elle lui est fournie, il lui faut nécessairement la recevoir et la conserver dans un *réservoir*; or ce réservoir a plus d'un côté fâcheux, il est encombrant, l'eau s'y échauffe, les matières en suspension s'y déposent, s'y accumulent, y éprouvent des décompositions ou des fermentations, si l'on n'a soin de le nettoyer fréquemment; le zinc qu'on emploie souvent pour le construire n'est pas toujours pur, et, s'il contient du plomb, l'eau qui y séjourne peut acquérir des propriétés toxiques. Il lui faut dans la maison deux tuyaux verticaux, l'un pour l'amenée de l'eau dans le réservoir, l'autre pour l'alimentation par le réservoir des divers appareils de puisage, et la colonne montante doit avoir un diamètre assez grand pour débiter durant la période d'alimentation l'eau nécessaire à la consommation jusqu'à la manœuvre suivante. Le seul avantage qu'on puisse invoquer, c'est que le prix de l'abonnement, s'appliquant à un régime bien déterminé, se trouve fixé d'avance et demeure invariable.

Quant au fournisseur, ce mode de livraison de l'eau lui permet de se rendre parfaitement compte des besoins, de calculer avec précision les quantités d'eau nécessaires dans les diverses parties du réseau et le débit des différentes conduites, de connaître par avance le montant de sa recette, de réduire à peu de chose l'importance des fuites sur la canalisation, d'organiser un service parfaitement régulier. Mais en revanche les manœuvres périodiques constituent pour lui une sujétion assez onéreuse, à laquelle il faut ajouter l'obligation d'avoir des fontainiers en permanence pour l'ouverture des robinets en cas d'incendie, la nécessité de donner aux conduites des sections relativement grandes, si bien qu'il n'a pas toujours lieu de s'en louer lui-même.

Aussi ne doit-on pas s'étonner de voir le système intermittent perdre chaque jour du terrain en Angleterre, où il était presque exclusivement adopté autrefois. Les compagnies, après l'avoir longtemps imposé, ont cédé devant les réclamations du public, et ont fini par reconnaître que leur propre intérêt commandait l'introduction du service constant, que tout

le monde s'accorde maintenant à considérer comme un progrès nécessaire.

II. La *livraison constante et illimitée* de l'eau dans les maisons présente les avantages et les inconvénients contraires.

Il ne saurait être question ici de l'écoulement continu et à gueule bée, possible seulement dans certaines localités peu importantes, qui disposent d'un énorme volume d'eau pour un nombre restreint d'habitants. Nous voulons parler du *robinet libre* qui fournit l'eau abondamment toutes les fois qu'on l'ouvre, à quelque moment qu'on en ait besoin.

Pour le consommateur, il n'est pas de mode de livraison d'eau qui soit plus satisfaisant : pas de réservoir, canalisation directe de la conduite publique aux orifices de puisage, faculté de se procurer à tout moment, de jour ou de nuit, autant d'eau qu'on en veut, possibilité de l'obtenir fraîche, telle qu'elle est amenée par les conduites publiques.... Ce serait l'idéal si chacun ne consommait que le nécessaire et se soumettait sans difficulté à une redevance en rapport avec le service rendu.

Mais ces deux conditions ne sont jamais remplies, et partout où l'on a fait usage du robinet libre, l'augmentation rapide des quantités d'eau employées est venue créer à l'exploitant de gros embarras. C'est qu'aucun système ne se prête plus aux abus, n'ouvre plus largement la porte au *gaspillage :* le prix de l'abonnement est fixé *à l'estimation* d'après la consommation présumée; mais, pour peu que les robinets soient laissés inutilement ouverts, toutes les prévisions sont vite dépassées, et, tandis que la recette ne varie pas, les volumes d'eau débités augmentent dans des proportions fantastiques. A Paris, en 1881, alors que la livraison de l'eau à robinet libre était la règle dans les maisons particulières, Couche a montré que la consommation avait triplé tout d'un coup dans une période de chaleur. L'abonné à robinet libre, dit-il, est prisonnier sur parole : il l'oublie trop souvent ! Et les robinets *à repoussoir*, *incalables*, *intermittents*, *à débit réduit*, ne sont que des palliatifs absolument insuffisants pour enrayer la progression du mal.

D'autre part, le débit étant essentiellement variable suivant les besoins et les habitudes de la population, il se produit dans tout le réseau des variations diurnes, hebdomadaires, annuelles de l'écoulement, et toutes les sections doivent être calculées pour le cas du maximum, ce qui augmente beaucoup les dépenses de premier établissement. En outre, la pression constante donne aux fuites une importance très grande ; les pertes deviennent énormes, et, pour les combattre, les exploitants sont obligés de recourir à des inspections minutieuses ou à des appareils spéciaux comme le *detector* de Church, le *compteur de pertes* de Deacon, les *waste preventers*, très répandus en Angleterre.

Excellent tant que la consommation domestique est restée modérée, le robinet libre n'est plus admissible depuis que la transformation des habitudes et les progrès de l'hygiène en ont provoqué l'augmentation rapide

dans toutes les villes. Ou, tout au moins, il faut le réserver pour celles où l'eau est en telle abondance qu'on puisse la gaspiller impunément, et elles sont de plus en plus rares.

III. Le mode de *livraison continue et limitée* réalisé au moyen de la *jauge* présente des avantages incontestables pour l'exploitant d'un service d'eau. Avec ce système, en effet, il sait exactement la quantité d'eau qu'il lui faut distribuer chaque jour, mieux encore chaque heure et chaque minute : car le débit est absolument régulier et n'éprouve ni variations annuelles ni variations diurnes. De là une économie d'installation très appréciable et de très grandes facilités d'exploitation, qui compensent grandement l'obligation de faire la part un peu large aux abonnés pour tenir compte des baisses de pression ou des obstructions partielles, et la nécessité d'une surveillance active pour parer aux effets de l'usure rapide de la jauge et pour réprimer la fraude qui se pratique aisément, avec ou sans la connivence du fontainier.

Mais pour le consommateur les inconvénients sont nombreux et assez graves : impossibilité absolue de dépasser en aucun cas la consommation fixée, même pour un besoin extraordinaire, fût-ce l'extinction d'un incendie ; obstructions fréquentes de la jauge ; nécessité d'un réservoir avec sa double tuyauterie d'alimentation et de distribution et tous les défauts que nous lui avons déjà reprochés.

IV. Le *compteur d'eau* permet de réaliser un quatrième mode de livraison de l'eau à domicile, qu'on peut qualifier d'*alimentation illimitée à débit mesuré*.

Le consommateur, l'abonné, est desservi exactement comme avec le robinet libre : même disposition de la canalisation, mêmes facilités de puisage..., il ne s'aperçoit de l'existence du compteur que lorsqu'il lui faut payer l'eau consommée.

Or c'est là précisément qu'apparaît la supériorité du compteur : il enregistre les quantités d'eau employées, de telle sorte que le prix réclamé par le fournisseur, au lieu d'être basé sur une évaluation arbitraire et presque toujours inexacte, peut être justement proportionné aux quantités consommées. Ce serait l'idéal auquel nous faisions allusion à propos du robinet libre, puisque nous avons cette fois le moyen de mettre la redevance en rapport avec le service rendu, n'était l'obligation d'acheter et d'entretenir le compteur, c'est-à-dire un appareil mécanique relativement coûteux et délicat.

Sans doute l'exploitant subit encore les inconvénients des variations de la consommation, mais il n'a plus à redouter le gaspillage ni les fuites sur la canalisation intérieure des maisons, et il est assuré de couvrir les frais supplémentaires qui résultent pour lui de l'augmentation progressive de la consommation, sans que les consommateurs se récrient, car ils trouvent équitable de payer l'eau qu'ils ont réellement employée.

Ce dernier système est relativement récent, car il n'y a pas très longtemps que le compteur d'eau est devenu d'un usage pratique. Quant aux trois autres, ils ont été plus ou moins en faveur dans les divers pays suivant que les circonstances se trouvaient être plus ou moins favorables au consommateur ou à l'exploitant. Les compagnies anglaises ont imaginé et longtemps maintenu le mode de livraison intermittent malgré les attaques justifiées dont il était l'objet. Sur le continent c'était la jauge, dont le principe remonte à l'administration romaine, à laquelle on avait recours toutes les fois qu'on ne disposait pas d'une quantité d'eau assez considérable pour faire le service à robinet libre.

Le public a toujours et partout réclamé un mode de livraison assurant une alimentation constante et illimitée; le robinet libre a incontestablement ses préférences, mais il accepte volontiers le compteur, qui lui laisse la même liberté de puisage, et substitue un mode de constatation rigoureuse à l'arbitraire parfois vexatoire des estimations.

La loi naturelle veut que l'intérêt du public, c'est-à-dire l'intérêt du plus grand nombre, l'intérêt de tous, finisse par l'emporter. C'est pourquoi, malgré des résistances intéressées, le système intermittent, longtemps prédominant en Angleterre, semble appelé à disparaître avec le temps. Bien que les inconvénients de la jauge soient moindres et qu'elle ait dans certains cas des avantages incontestables, il est certain que l'usage ne s'en développe plus et tend plutôt à se restreindre. Les difficultés considérables à surmonter pour l'alimentation des villes en eau potable, ne permettant guère de conserver le robinet libre, font la part belle au compteur d'eau.

Il y a longtemps qu'on l'a compris, semble-t-il, puisque les efforts des inventeurs se sont portés depuis nombre d'années et dans tous les pays sur la recherche d'un bon compteur d'eau. Instinctivement, ils voyaient dans cet appareil la solution de l'avenir; et, pour faire tomber les objections qu'on opposait à son adoption, complication, prix élevé, entretien assujettissant, indications inexactes, ils multipliaient les études, les essais, les combinaisons pour construire le compteur-type, précis, rustique et peu coûteux. Malgré les difficultés réelles du problème, il faut reconnaître que ces efforts persévérants ont abouti et qu'on est parvenu à produire plusieurs modèles de compteurs très suffisamment exacts, point trop dispendieux, à marche régulière et entretien relativement facile. A Paris, où ils n'étaient qu'à l'état d'essai avant 1880, on compte aujourd'hui 50 000 compteurs d'eau, et le service municipal n'a qu'à se louer des résultats tout à fait remarquables qu'ils lui ont permis d'obtenir : grâce à la sévérité avec avec laquelle on a procédé au choix des systèmes admis, grâce à l'organisation d'un atelier d'essai où tout compteur doit être poinçonné avant d'entrer en service, grâce aux vérifications subséquentes à domicile, on est arrivé à maintenir pratiquement dans des limites suffisantes l'exactitude du comptage; et le gaspillage a été radicalement enrayé sans provoque de plaintes de la part du public.

Ainsi donc il résulte de l'examen comparatif auquel nous venons de nous livrer que le système résultant de l'emploi du compteur est celui qui répond le mieux à la définition que nous avons présentée.

Très satisfaisant pour le consommateur, ce mode de livraison de l'eau est aussi très acceptable pour l'exploitant, qui, en compensation des quelques inconvénients qu'il subit, se trouve du moins nanti d'un moyen assuré de proportionner sa recette au service rendu.

Qu'on améliore encore l'appareil, qu'on le rende de plus en plus rustique et durable, qu'on le construise à meilleur compte, on aura là une solution presque parfaite du problème.

En résumé :

Le *robinet libre* est, au point de vue du public, supérieur à tout autre mode de livraison de l'eau à domicile, mais il n'est pratique que si la distribution est très abondamment alimentée, l'eau presque sans valeur, le volume disponible tel que le gaspillage ne soit pas à redouter.

Le *système intermittent* doit être écarté de toute installation nouvelle et peu à peu éliminé dans toutes les villes où il existe encore.

La *jauge*, malgré son ancienneté, malgré certains avantages réels, verra sans aucun doute son rôle se restreindre et ne sera plus employée désormais que dans des cas spéciaux.

Le *compteur d'eau* est incontestablement de tous les modes de livraison de l'eau celui qui répond le mieux à l'ensemble des desiderata et présente le plus d'avantages réunis.

Il y a d'ailleurs aujourd'hui plusieurs systèmes de compteurs d'eau, notamment parmi ceux construits en France, qui offrent à un assez haut degré les qualités requises de simplicité, d'exactitude et de bon marché pour être admis sans hésitation dans la pratique.

Paris, 31 mai 1889.

DE

L'UTILISATION DES EAUX ARTÉSIENNES

DU BAS SAHARA ALGÉRIEN

PAR

M. G. ROLLAND
Ingénieur au Corps des Mines.

DE

L'UTILISATION DES EAUX ARTÉSIENNES

DU BAS SAHARA ALGÉRIEN

RAPPORT

DE

M. G. ROLLAND

Ingénieur au Corps des Mines.

Introduction.

L'utilisation des eaux artésiennes est un sujet vaste et complexe, qui ne se prête pas à être traité d'une manière générale : car sauf les généralités que connaissent tous les ingénieurs, chaque bassin demanderait, à vrai dire, une monographie spéciale.

Le Comité d'organisation du Congrès pour l'utilisation des eaux m'ayant fait l'honneur de s'adresser à moi pour un rapport sur cette question, en considération de mes travaux dans le bassin artésien du Bas Sahara algérien[1], je me crois autorisé à choisir, en particulier, ce bassin comme exemple.

Le bassin artésien du Bas Sahara est, d'ailleurs, un des plus importants qui existent à la surface du globe. Son étude ne peut manquer d'être instructive pour d'autres régions, et, de plus, on peut dire qu'elle est d'actualité, en raison de la notoriété acquise depuis quelques années par les entreprises de forages artésiens et de création d'oasis nouvelles dans la région de l'Oued Rir', au sud de Biskra, et en présence de l'attention qu'attire, à cette heure même, à l'Exposition algérienne de l'Esplanade des Invalides, ce nouveau mode de colonisation.

Certes, il ne faut rien exagérer, et ce serait une grande illusion que d'espérer transformer tout le Sahara en région cultivable par les son-

1. G. Rolland. — *L'Oued Rir' et la Colonisation française au Sahara.* (Challamel, éditeur, 1887.)

dages et les plantations de palmiers-dattiers! Les zones irrigables que l'on pourra ainsi mettre en valeur ne sont malheureusement que d'infimes portions des immensités sahariennes. Les oasis existantes ou à créer ne forment et ne formeront jamais que des taches disséminées dans le désert : à peine la millième partie de sa surface totale. Mais, par un singulier contraste, ces oasis si clairsemées et si restreintes, où se concentrent le travail et la vie des contrées les plus pauvres du globe, possèdent — grâce au palmier-dattier — une force de production et des éléments de richesse agricole dont on ne trouve guère l'équivalent, à surface égale, que dans les territoires les plus fertiles des pays les plus favorisés par la nature et le climat.

J'ai avancé et je maintiens qu'un hectare complanté de palmiers-dattiers — à raison de 200 palmiers par hectare — peut rapporter annuellement 1000 francs — net des frais d'expoitation, en supposant une irrigation abondante et en admettant une proportion suffisante de dattiers de variété fine dans les plantations.

Planter un hectare de palmiers, c'est donc créer, au taux de capitalisation de 10 pour 100, une valeur de 10 000 francs. Pour cela, j'évalue à 5000 francs le montant des dépenses de premier établissement et d'entretien jusqu'au rapport des plantations, quand on opère sur une large échelle.

Planter 50 000 palmiers, comme l'a fait la *Société de Batna et du Sud algérien*, dont j'ai l'honneur d'être fondateur et administrateur délégué, c'est créer une valeur de 2 500 000 francs. Doubler le nombre des palmiers de l'Oued Rir', comme j'ai dit qu'on pouvait espérer y arriver, en créant de nouveaux centres loin des oasis existantes, ce serait créer une valeur de 30 millions.

Qu'on fasse de même dans les autres régions colonisables du Bas Sahara algérien et tunisien, qu'on utilise mieux les eaux souterraines et superficielles actuellement perdues — (car c'est là tout le secret), — et il n'est pas impossible qu'on arrive à augmenter ainsi peu à peu de 100 millions la valeur de cette partie du sol national.

Notre exemple n'eût-il contribué qu'à faire accomplir ces choses par nos compatriotes, en leur montrant le champ qui s'offre à leur activité dans le Sud Algérien et tunisien, que nous croirions avoir fait œuvre bonne et utile pour le pays.

Ces préliminaires posés, j'aborde le sujet spécial de ce rapport, l'*utilisation des eaux artésiennes du Bas Sahara algérien*.

Il ne s'agit ici que d'un rapport sommaire. Son objet principal étant de donner une base aux discussions des membres du Congrès, je m'attacherai d'abord à préciser le régime des eaux artésiennes des diverses parties du bassin considéré, tel que je le comprends, et j'indiquerai ensuite plus brièvement, bien qu'avec netteté, certaines des questions sur lesquelles il serait bon d'appeler les lumières du Congrès, — telles que les mesures à prendre pour organiser une surveillance libérale, mais néces-

saire, des sondages du Sahara, — les recherches d'eaux artésiennes à entreprendre dans le Bas Sahara algérien et plus au sud, dans le Sahara central, etc.

Généralités sur les divers modes d'irrigation du Bas Sahara.

Toute oasis occupe un emplacement dont le sol peut être irrigué, d'une manière ou d'une autre, ou du moins présente quelque humidité : car, sans irrigation, sans eau, impossible à la terre de rien donner avec la sécheresse extrême de l'atmosphère au Sahara, impossible au palmier de produire, ni à aucune culture de prospérer.

Aussi les diverses régions d'oasis correspondent-elles à autant de régions naturelles où l'on rencontre des eaux soit superficielles, soit souterraines, — ligne d'un cours d'eau, ou zone de sources, ou nappe artésienne.

Le mode d'irrigation varie avec les eaux dont on dispose, et à ce point de vue, qui est fondamental, on peut distinguer plusieurs types d'oasis : oasis de rivière, oasis à puits ordinaires, oasis d'excavation, oasis à sources naturelles et oasis à puits artésiens jaillissants. Types qui d'ailleurs se combinent souvent entre eux dans une même oasis.

Les oasis de rivière, ainsi que leur nom l'indique, sont situées sur des cours d'eau et généralement dans le lit même des oueds, c'est-à-dire des vallées sahariennes, vallées sèches en apparence, mais possédant d'ordinaire un certain écoulement au travers de leurs sables et de leurs graviers [1]. C'est le type dominant des oasis qui, dans le sud des provinces d'Alger et d'Oran, se succèdent à partir de Laghouat vers le sud-ouest jusqu'à Figuig, au pied des derniers contreforts des montagnes du Djebel Amour et de la région dite des Ksour ; telles sont aussi les oasis qui, dans le sud de la province de Constantine, se trouvent, au nord et à l'est de Biskra, sur le parcours des vallées qui découpent le versant méridional des montagnes de l'Aurès et descendent vers la grande plaine du chott Melrir.

Ces oasis, comme la plupart des oasis de rivière, sont placées sur le cours d'oueds prenant leur source dans les montagnes du nord et présentant, par suite, des crues annuelles, à l'hiver et au printemps ; elles utilisent une partie de ces crues pour leurs irrigations, qui deviennent alors plutôt trop abondantes. Mais, le reste du temps, elles ne disposent que des eaux qui filtrent sous les graviers, dont une partie est retenue et ramenée au jour au moyen de barrages et qui alimentent aussi une série de puits ordinaires ; or ces eaux sont en quantités très variables d'une saison à l'autre et se font rares en été, précisément au moment où le palmier a besoin d'être irrigué davantage.

1. G. Rolland. — Hydrographie et orographie du Sahara algérien. (*Bulletin de la Société de géographie*, 2e trimestre de 1886.)

Aussi peut-on dire que les oasis de rivière se trouvent, en général, dans des conditions notoirement inférieures, à cause du manque de régularité de leurs irrigations.

Parmi les autres types d'oasis, les oasis à puits ordinaires, où toute l'eau nécessaire aux irrigations doit être puisée à bras d'homme ou par des animaux, au moyen de dispositifs à bascule ou à poulie, ne sauraient être citées non plus comme se trouvant dans de bonnes conditions: car leur entretien exige un travail continu et pénible. Il est rare que les oasis de ce type acquièrent une grande importance, sauf au centre du Sahara algérien, chez les Mzabites, dont la persévérance et la ténacité ont su tirer parti d'une des régions les plus ingrates du désert.

Règle générale, les oasis prospères sont celles où l'on dispose d'eaux souterraines à débit constant, et où l'on n'a pas besoin de puiser l'eau pour les irrigations : double condition qui se trouve remplie dans la plupart des oasis du Sahara de la province de Constantine et du Sahara de la régence de Tunis.

Pour cela, il n'est pas indispensable que l'eau soit jaillissante; ainsi les oasis dites d'excavation, situées dans l'est du Sahara de Constantine, au milieu des grandes dunes de sable et de l'Erg oriental, ne disposent que d'une nappe régnant à une profondeur de 3 à 5 mètres sous la surface, nappe assez abondante et artésienne, mais simplement ascendante. Les jardins de cette curieuse région sont logés dans de petites cavités qui ont été creusées de main d'homme dans le sol entre les dunes, de manière que les palmiers plongent leurs pieds dans la nappe aquifère, où ils trouvent une humidité constante, mais mesurée.

Arrivons aux oasis à sources artésiennes naturelles et aux oasis à puits artésiens jaillissants; ici l'eau jaillit d'elle-même et en permanence à la surface, et l'on n'a qu'à la distribuer pour l'irrigation des cultures, irrigation constante en toute saison.

Ces deux types offrent sur les autres une évidente supériorité. A l'un et à l'autre appartiennent les principales régions d'oasis du Sahara algérien et tunisien, telles que les oasis à sources du Zab occidental, à l'ouest de Biskra, et du Djérid, sur le bord occidental du chott de ce nom, et telles que les oasis à puits artésiens de l'Oued Rir', au sud de Biskra, et d'Ouargla, plus au sud.

On se figure difficilement le volume d'eau qui est nécessaire au Sahara pour assurer la prospérité d'un hectare de palmiers.

L'usage, quand on dispose d'une quantité d'eau suffisante, est d'irriguer les jardins à grande eau, en inondant le sol sur 5 à 10 centimètres d'épaisseur. A cet effet, le terrain est divisé en compartiments avec chicanes, où l'on conduit l'eau successivement, — sans parler des trous que l'on peut ménager au pied des palmiers, pour que l'eau s'y conserve davantage. Le roulement des arrosages est organisé de manière que chaque quartier de plantations reçoive l'eau à des intervalles réguliers, pouvant varier de 5 à

10 jours, dans des conditions normales et pour des palmiers déjà grands. On ne saurait, d'ailleurs, poser de règles fixes à cet égard ; le desideratum est de donner assez d'eau à des intervalles assez rapprochés pour que le sous-sol conserve une certaine humidité, nécessaire à la végétation, malgré l'évaporation si active du climat saharien, et malgré le drainage du terrain par les fossés d'écoulement dont il sera question tout à l'heure.

Dans les oasis de l'Oued Rir', M. Jus a observé depuis longtemps[1] « que le palmier dont la moyenne d'irrigation était de 30 à 33 centilitres par minute, était vigoureux et d'un rapport supérieur à celui dont la moyenne était au-dessous de ce chiffre » ; — et « que le palmier dont la moyenne était de 40 à 50 centilitres, était d'une vigueur exceptionnelle et d'un rapport supérieur de 20 pour 100 sur ceux dont la moyenne n'était que de 30 à 33 centilitres ». Notre expérience, dans les oasis que nous avons créées dans l'Oued Rir', confirme pleinement ces indications, et nous considérons aussi qu'une moyenne d'irrigation de 50 centilitres par palmier et par minute est désirable, surtout si l'on veut faire en même temps des cultures accessoires entre les palmiers. Mais cette moyenne est loin d'être atteinte dans toutes les oasis de l'Oued Rir', où l'on tombe parfois à 11 centilitres par palmier et par minute.

Or, à raison de 200 palmiers par hectare, chiffre adopté par nous dans nos plantations, une moyenne d'irrigation de 50 centilitres correspond, pour une année entière, à un volume d'eau d'irrigation de 52500 mètres cubes par hectare, — ce qui équivaudrait à une hauteur d'eau de plus de 5 mètres. La moyenne minima de 10 centilitres correspond encore à un volume de 10500 mètres cubes par hectare et par an, — ce qui équivaudrait à une hauteur d'eau de plus d'un mètre: c'est la moyenne d'irrigation dans les oasis tunisiennes de Djérid, d'après M. Blanc[1].

Il est intéressant d'opposer à ces chiffres la hauteur naturelle d'eau de pluie qui tombe réellement au Sahara : M. Léon Teisserenc de Bort l'évalue à 120 millimètres seulement. Ajoutons que la plus grande partie de l'eau de pluie qui tombe au Sahara s'évapore presque immédiatement et ne contribue pas à l'alimentation des nappes souterraines de ces régions, sauf ce qui est absorbé par les grandes dunes de sable. D'ailleurs l'eau, sous forme de pluie, n'est nullement utile au palmier, qui, s'il a besoin d'eau d'irrigation à son pied pour bien pousser et bien produire, demande, d'autre part, une chaleur intense au soleil et une sécheresse extrême à l'atmosphère, pour la maturité et la qualité de ses fruits. La pluie peut même devenir désastreuse dans les oasis à certaines époques, en particulier au printemps, au moment de la fécondation, et à l'automne, avant la récolte.

Mais irriguer le palmier ne suffit pas. Le mal naît parfois de l'excès du bien, et il arrive dans les oasis sahariennes qu'une trop grande surabondance d'eau devient nuisible à la salubrité ainsi qu'à la végétation. En

1. H. Jus. — *Les Oasis de l'Oued Rir* (Challamel, éditeur, 1884).
2. Compte rendu des séances de la Société de géographie (1er mars 1889).

effet, les eaux stagnantes engendrent les fièvres paludéennes qui déciment les habitants de certaines oasis mal situées ou mal aménagées; et, d'autre part, elles ne sont pas moins funestes à la santé du palmier, qui a besoin d'eau, mais d'eau vive, et ne saurait prospérer dans des bas-fonds trop humides, sans écoulement. Aussi importe-t-il, dans toute oasis irriguée à grande eau, de drainer le terrain au moyen de fossés et, de faire écouler sans cesse le trop-plein des eaux d'arrosage loin des villages et loin des cultures; pour cela, il faut évidemment que la pente naturelle du sol soit suffisante; quand elle est trop faible, comme à Ouargla, l'évacuation des eaux d'arrosage présente une difficulté réelle, et alors les oasis proprement dites sont fatalement assez insalubres.

Ce qui importe également dans cet ordre d'idées, c'est d'assainir les lieux habités. Malheureusement la plupart des villages indigènes ont été construits au milieu même des oasis, aux points les plus bas, et ils sont entourés de fossés de défense où se rassemblent les eaux croupissantes, véritables ceintures de miasmes pestilentiels. Il y a lieu, du moins, dans tout notre Sahara, de faire combler par ordre supérieur ces fossés de défense devenus inutiles depuis que la domination française assure la sécurité à tous; c'est ce que l'agha Ben Driss a eu la louable initiative de faire à Tougourt, d'où les fièvres ont disparu, et ce qu'il avait voulu faire à Ouargla.

Quant aux nouveaux centres d'habitations qu'on créera, il faudra les placer, ainsi que nous l'avons fait, non plus au cœur même des cultures, mais à proximité, sur les monticules et les éminences que présente généralement le relief du sol, même dans ces régions de plaines.

L'oasis modèle est l'oasis à puits jaillissant, où l'eau jaillit, non pas en un point quelconque de la surface, mais en un point qu'on a choisi au mieux de toutes les convenances; où elle peut jaillir, grâce à la force ascensionelle d'une nappe artésienne à haute pression, sur les points les plus élevés du relief; où, par suite, on a pu placer le sondage sur un monticule, qui domine les alentours et au sommet duquel on a construit le groupe des habitations; où l'eau jaillit néanmoins, en vertu de la pression et du volume de la nappe, avec un débit assez fort pour qu'un seul puits desserve des plantations étendues; où le terrain présente une disposition favorable pour l'irrigation méthodique des cultures, et où il existe enfin une pente générale qui permette d'évacuer au loin le trop-plein des eaux d'arrosage. Or il est possible de satisfaire à toutes ces conditions réunies dans mainte partie de la région de l'Oued Rir', mieux qu'en aucune région du Sahara algérien, à notre connaissance.

Comme complément à ces généralités, je me permettrai de renvoyer les personnes qui désireront se rendre compte exactement des travaux que comporte la création d'une oasis artificielle au désert, et celles, en particulier, qui voudront étudier l'utilisation des eaux artésiennes dans une oasis européenne avec puits jaillissant, à l'exposition de la *Société de Batna et du Sud algérien* (intérieur du palais algérien, galerie de

Constantine), où se trouvent les plans détaillés des trois oasis que nous avons créées dans l'Oued Rir'. Ces plans montrent, d'une manière complète, le mouvement des eaux; ils indiquent, d'une part, le réseau des canaux d'arrosage et de leurs embranchements, et, d'autre part, le réseau des fossés de drainage et les fossés collecteurs d'écoulement.

Sur les plans des oasis nouvelles d'Ourir et d'Ayata, on verra le système d'irrigation par *rigoles et godets*, adopté de préférence par nous pour de jeunes plantations, mais dans les premières années seulement.

Sur le plan en relief de l'oasis nouvelle de Sidi Yahia, on verra le système normal d'irrigation à *grande eau par compartiments*, avec l'irrigation en cours d'une partie de la propriété.

Généralités sur le bassin artésien du Bas Sahara.

La désignation de Bas Sahara s'applique à la partie du Sahara qui s'étend au sud de la province de Constantine et de la régence de Tunis. Les altitudes y sont, en effet, fort peu élevées : le chott Melrir est au-dessous du niveau de la mer; au sud, l'Oued Rir' et le Souf sont à des altitudes inférieures à 100 mètres, et Ouargla est à moins de 200 mètres; au nord, la plaine qui s'élève vers l'Atlas n'atteint que 120 à 250 mètres au pied des monts du Zab, du Djebel Aurès et du massif des Nemencha.

Le Bas Sahara algérien et tunisien a ceci de très remarquable que c'est un immense bassin d'eaux artésiennes, c'est-à-dire d'eaux souterraines, dotées de pression et, par suite, ascendantes ou jaillissantes.

Quelques régions privilégiées attirent surtout l'attention et présentent une extraordinaire abondance d'eaux jaillissantes : eaux douces et potables, légèrement thermales, fournies soit par des sources naturelles, soit par des puits artésiens ou, autrement dit, par des sources artificielles.

Au nord du Sahara de Constantine, dans la région de Biskra et à l'ouest de cette région, ce sont les quarante-deux sources ou groupes de sources du Zab, qui débitent ensemble plus de 2,5 mètres cubes d'eau par seconde : soit 85 millions de mètres cubes pendant une année entière. Au sud, dans l'Oued Rir', ce sont des centaines de puits artésiens, dont tous les débits totalisés atteignent 4 mètres cubes d'eau par seconde, soit 130 millions de mètres cubes annuellement. Plus au sud, dans la région d'Ouargla, ce sont encore de nombreux puits artésiens, dont le débit total approche de 1 mètre cube d'eau par seconde : soit 30 millions de mètres cubes en un an.

D'autre part, dans le Sahara tunisien, on a les magnifiques sources du Djérid, à l'ouest, la masse des petites sources du Nefzaoua, au sud, les sources importantes de la région littorale de Gabès, à l'est, et les célèbres sources de Gafsa, au nord. Il faut noter aussi, dans la région de Gabès, les beaux puits artésiens récemment forés dans le bassin de l'Oued Melah.

Ce n'est pas tout, loin de là. En dehors de ces régions définies, vers les-

quelles les eaux artésiennes affluent, et où elles se trouvent, pour ainsi dire, concentrées en volume et en pression, il existe, sur toute l'étendue du Bas Sahara algérien et tunisien, une diffusion d'eaux artésiennes qui imprègnent la masse des terrains sableux et perméables, comme une immense éponge, et, qui donnent lieu sans doute à bien des nappes ignorées. D'une manière générale, dans tout le Bas Sahara règne une nappe ascendante, d'un faible débit, qui remonte jusqu'auprès de la surface, par pression et par capillarité, et qui épouse plus ou moins les ondulations du sol : c'est elle qui filtre dans les puits ordinaires des caravanes et de certaines oasis, dans les excavations des jardins du Souf, dans les bassins situés au fond des entonnoirs naturels qu'on rencontre çà et là; elle qui, affleurant dans les dépressions du relief, alimente les sebkha et les chotts.

De toutes parts a lieu, sous le climat saharien, une évaporation active aux dépens de cette nappe supérieure, et les quantités d'eaux artésiennes qui se perdent ainsi de tous côtés, sont incomparablement plus grandes que les volumes débités par toutes les sources et par tous les puits jaillissants réunis du Bas Sahara.

Mais d'où viennent toutes ces eaux que renferme le sous-sol de régions où la pluie est un phénomène rare et accidentel? D'où viennent-elles, et comment s'opère l'alimentation de ce bassin artésien?

En quelques mots, les eaux artésiennes du Bas Sahara algérien et tunisien viennent en majeure partie du nord, contrairement à l'opinion la plus répandue, et elles descendent des massifs montagneux de l'Atlas[1].

Leur alimentation s'opère de deux manières principales : par les eaux météoriques qu'absorbent les terrains dits d'atterrissement du Bas Sahara, et par les eaux déjà artésiennes qui proviennent des terrains crétacés de l'Atlas. Il y a d'abord les eaux de pluie et les eaux courantes des vallées, qui s'infiltrent en partie dans les sols perméables du Bas Sahara, soit directement, soit par l'intermédiaire des grandes dunes de sable[2]; elles descendent souterrainement en vertu de la pesanteur, acquièrent ainsi de la pression et deviennent susceptibles de jaillir dans l'intérieur du bassin : or, pour ce qui est de ce premier mode d'alimentation, l'appoint le plus important est fourni par les rivières qui descendent des montagnes du nord, Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued el Arab, Oued Tarfaoui, lesquelles présentent des crues volumineuses et torrentielles après les pluies d'hiver et

1. Je ne parle ici que du Bas Sahara. Quant aux eaux artésiennes des régions situées plus au sud, — bassins de Timassinin, d'Amguid et du haut Igharghar, en général, — il est bien certain qu'elles viennent en majeure partie du sud et descendent des massifs montagneux des Touareg, principalement des monts Ahaggar.

2. J'ai décrit précédemment les *Grandes Dunes de sable du Sahara*, dans la *Nature* (3 juin et 8 juillet 1882). Par une singulière antithèse de la nature, ces grands massifs de sable, qui résultent essentiellement de la sécheresse du climat saharien, jouent au Sahara le rôle de véritables réservoirs d'eau : car toutes les eaux météoriques qui tombent sur les dunes ou y arrivent, y sont aussitôt absorbées, s'y trouvent dès lors à l'abri de l'évaporation et se rassemblent vers la base de ces massifs perméables sous forme de larges nappes.

lors de la fonte des neiges, au printemps. En second lieu, les eaux fournies annuellement par les pluies et les neiges qui tombent sur les montagnes du nord, dont les altitudes atteignent 2300 mètres dans l'Aurès, s'infiltrent elles-mêmes en partie dans ces massifs montagneux, et sont absorbées par les couches perméables qu'elles y rencontrent; ainsi prennent naissance, dans l'Atlas, d'abondantes nappes d'eau qui circulent souterrainement et s'écoulent, avec pression croissante, vers le sud, pour aller reparaître dans le Bas Sahara, à plus de 2000 mètres en contre-bas des lieux d'origine, et pour y jaillir soit directement au jour, comme au Zab, soit sous une certaine épaisseur de terrains, où elles remontent ensuite, comme dans l'intérieur du bassin : or ce second mode d'alimentation se fait exclusivement par le nord.

La hauteur annuelle de pluie, qui n'est que de 200 millimètres à Biskra et à El Kantara, au pied du versant saharien de l'Aurès, atteint 400 millimètres à Batna et à Tebessa, et probablement 500 millimètres sur l'Aurès même, d'après M. Léon Teisserenc de Bort.

On remarquera combien les parties du Bas Sahara où se réunissent les eaux artésiennes et où s'en exerce l'exploitation, sont restreintes comparativement à la vaste surface d'alimentation de ce bassin. La question de la mise en valeur des régions irrigables du Sahara n'en a pas moins une haute portée, ainsi que j'ai dit en commençant.

Ces généralités ayant été posées, je passerai sommairement en revue les principales régions artésiennes du Bas Sahara algérien.

L'OUED RIR'

L'Oued Rir', capitale Tougourt, est la région la mieux dotée et aujourd'hui la mieux connue du bassin artésien du Bas Sahara algérien : c'est là que se trouve, pour ainsi dire, le centre de gravité des eaux artésiennes de ce bassin.

J'ai cru pouvoir comparer l'Oued Rir' à une petite Égypte avec un Nil souterrain.

A proprement parler, l'Oued Rir' est une vallée qui descend du sud au nord et aboutit au sud-ouest du chott Melrir. Le lit mineur de cette vallée est représenté par une zone de bas-fonds, *chotts* et *sebkha*, le long de laquelle s'échelonnent 43 oasis. Les oasis de l'Oued Rir' commençent, au nord, à Ourir, situé à 100 kilomètres au sud de Biskra, et se succèdent sur 130 kilomètres vers le sud : Mraïer, Ourlana, Tougourt, etc.

L'existence de cette série d'oasis est liée à la présence d'un grand réservoir d'eaux artésiennes à haute pression, qui règne souterrainement, à l'aplomb de la zone des bas-fonds de la surface, et dont on peut faire

jaillir l'eau en abondance, au moyen de puits suffisamment profonds. De nombreux puits jaillissants, les uns creusés par les indigènes et boisés, les autres forés par la sonde française et tubés en fer, jalonnent de distance en distance ce réservoir souterrain, qui règne avec continuité tout le long de l'Oued Rir'.

Les eaux artésiennes viennent d'une profondeur de 70 à 75 mètres sous la surface, et possèdent une température de 25°,1 en moyenne. Elles ont leur gisement au sein d'une masse très perméable de sable fluide, mais sont recouvertes et maintenues sous pression par un massif imperméable de marnes et de marnes sableuses, avec gypse, que les sondages ont à traverser. Aussitôt que l'outil a percé la couverture, c'est-à-dire la couche qui recouvre immédiatement la nappe artésienne et qui est souvent très dure, les eaux comprimées font irruption dans le trou de soude et jaillissent à l'orifice de la colonne métallique : le premier jet s'élance souvent à plusieurs mètres de hauteur. Pendant quelques jours, l'eau charrie beaucoup de sables et de cailloux, et parfois même de gros blocs, qu'elle vomit à la surface; puis il s'établit peu à peu un régime stable, et l'eau sort claire et limpide de l'orifice.

Par place, les eaux sous pression se sont elles-mêmes frayé passage au travers des terrains superposés, et ont donné lieu à des sources naturelles, aux points d'émergence desquelles se trouvent des gouffres généralement profonds ou des buttes comparables aux cratères de petits volcans d'eau : telle est l'origine de beaucoup de lacs artésiens appelés *behour* (*bahr*, mer, pl. *behour*) et de presque tous les petits réservoirs appelés *chria* (nid) que l'on rencontre à la surface de l'Oued Rir'. Nul doute que ce furent ces sources naturelles qui révélèrent aux indigènes la possibilité d'obtenir des eaux jaillissantes à la surface de l'Oued Rir', et qui donnèrent l'idée d'y creuser des puits artésiens.

Les behour forment parfois des lacs importants. Le bahr Merdjedja, près de Tougourt, n'a pas moins de 2 kilomètres de longueur. Il faut ajouter qu'une partie de ces behour provient de l'éboulement d'anciens puits indigènes ou d'anciens groupes de puits indigènes. En effet, ces puits, creusés à la main par les indigènes, ont leurs parois simplement boisées : au bout d'un certain temps, ils s'éboulent et s'ensablent, et leur durée est forcément limitée. Au contraire, les puits français, forés au moyen de l'appareil européen de sondage et tubés en fer, ont une durée pour ainsi dire indéfinie, quand ils ont été exécutés dans de bonnes conditions et que la colonne des tubes repose sur une couche solide. Le fait est que la plupart des puits français de l'Oued Rir' n'ont pas varié de débit depuis leur création, et certains datent aujourd'hui de plus de trente ans.

Les travaux de sondage de l'Oued Rir' ont été inaugurés en 1856, deux ans après la conquête du pays par les troupes françaises. Depuis lors, ils ont été poursuivis avec persévérance par l'administration militaire, sous la

direction aussi habile que dévouée de M. l'ingénieur Jus[1]. Au 1er octobre 1885, l'Oued Rir' possédait 114 puits jaillissants français et 492 puits jaillissants indigènes, et tous ces puits réunis débitaient, en y ajoutant quelques sources naturelles, 253 698 litres d'eau par minute, soit 4 mètres cubes d'eau par seconde : cela équivaut au dixième environ du débit de la Seine dans ses basses eaux, ou encore au débit de cours d'eau assez importants pour donner leurs noms à des départements, comme le Cher, l'Indre.

Le mieux, pour faciliter l'étude des sondages de l'Oued Rir', m'a semblé être de dresser le tableau synoptique ci-joint, qui en apprendra plus que de longues descriptions.

Si l'on jette un coup d'œil sur une carte détaillée de l'Oued Rir', on voit de suite que les behour et les chria, les puits indigènes, morts ou vivants, et les puits français, de même que les oasis elles-mêmes, loin d'être réparties indifféremment à la surface de cette large plaine, sont groupés et échelonnés du côté oriental de la vallée le long de la zone des bas-fonds de la surface : et, en effet, c'est de ce côté que les eaux artésiennes présentent leur maximum de volume et de pression, tandis que, vers l'ouest, elles disparaissent assez brusquement. Il ne s'agit donc pas ici d'une nappe ordinaire, ni régulière, de largeur comparable à sa longueur : c'est une zone aquifère, allongée du nord au sud et limitée sur ses bords. C'est une sorte de *rivière* ou plutôt d'*artère souterraine*.

Ces mots ne doivent pas faire penser, toutefois, à un écoulement rapide. Assurément les eaux souterraines de l'Oued Rir' ne sont pas stagnantes, ni comprises dans un réservoir clos, sans écoulement, ce qui serait contraire aux lois ordinaires de la nature. Elles présentent bien un écoulement réel et continu, entre les sources qui les alimentent et les points où elles émergent; mais il s'agit d'un écoulement général, de vitesse insensible, sauf au voisinage immédiat de certains points d'entrée et de sortie.

D'autre part, le cours des eaux artésiennes de l'Oued Rir' est loin de se présenter aussi simplement que celui d'une rivière dans une vallée. Son allure est des plus capricieuses. Notre artère artésienne serpente, avec mille sinuosités, sous le manteau uniforme de la couverture; elle offre des variations de largeur de 4 à 14 kilomètres; elle n'est pas toujours unique, et, dans la région d'Ourlana, par exemple, elle se dédouble au nord et au sud, de manière à figurer un X irrégulier.

Enfin il serait inexact de s'imaginer une rivière occupant un chenal creux et limité par des berges. Les eaux souterraines sont infiltrées, au contraire, au travers d'une masse continue de sables perméables. Latéralement, la zone liquide n'est pas isolée; elle se trouve comprise au milieu

1. Le matériel des ateliers militaires de forages de la province de Constantine est fourni, depuis 1856, par la maison Lippmann et Cie de Paris (ancienne maison Laurent et Degousée).

TABLEAU

Dressé par

POUR L'ÉTUDE DES

DIVISION de L'OUED RIR' en trois grandes régions.	PRINCIPAUX GROUPES de SONDAGES FRANÇAIS et de PUITS INDIGÈNES.	ORIFICES — ALTITUDES moyennes rectifiées. (1)	ÉTAGE SUPÉRIEUR IMPERMÉABLE. COMPOSITION DOMINANTE. (2)	ÉPAISSEUR moyenne traversée.	COUVERTURE DE LA NAPPE PRINCIPALE. NATURE.	ALTITUDES moyennes
		mètres.		mètres.		mètres.
Région septentrionale	Groupe d'Ourir-Ensira, de Mraïer et de Dendouga. . . .	— 13.5 à — 3	Marnes sableuses et sables marneux. .	51 à 45	Marnes compactes et marnes sableuses.	—65 à —48
	Groupe de Sidi Khelil	+ 14	Marnes compactes et marnes sableuses.	26	Marnes compactes. .	— 12
	Groupe d'El Berd et Tinedla. .	+ 3 à + 4	Marnes sableuses et sables marneux. .	60	Marnes compactes et marnes sableuses.	— 56
Région centrale.	Groupe de Zaouïet R'had et Mellah	+ 25	Id.	57	Id.	— 32
	Grand groupe de Mazer, Chria Saïah et Tala-em-Mouïdi; d'Ariana, Djama et Tiguedidin; de Coudiat Sidi Yahia et Sidi Yahia, et de Sidi Amran. . .	+33 à +43	Marnes compactes et marnes sableuses.	63	Poudingue concrétionné calcaire . .	—30 à —20
	Groupe de Tamerna Khedima et Tamerna Djedida.	+45 à +47	id.	56	Poudingue concrétionné siliceux . .	— 10
Région méridionale.	Groupe de Moggar, Sidi Sliman, Bou Rekis et El Kessour. . .	+ 51.5 à + 58	Marnes compactes et marnes sableuses.	60	Marnes compactes. .	— 9
	Groupe latéral de Sidi Rached, Bram, Ghamra et El Harira. .	+54 à +63	Marnes compactes. .	45	Marnes compactes. .	+ 10
	Grand groupe de Meggarin Khedima et Meggarin Djedida; de Zaouïa, Tebesbes et Tougourt, de Nezla et Coudiat el Koda.	+54 à +69	Marnes compactes. .	75	Argile grasse	— 12
	Groupe terminal de Temassin, Tamelath, de Bledat Ahmar et El Goug.	+71 à +86	Marnes compactes. .	45 à 16	Marnes compactes. .	+26 à +70

(1) Les altitudes aujourd'hui les mieux déterminées de l'Oued Rir' sont les suivantes ; Oum el Thiour, — 6 mètres ; Ourir, — 13 m. 5 ; Mraïer (Bordj), + 3 m. 50 ; Sidi Kkelil, + 14 mètres ; Nza ben Rzig, + 39 m. 60 ; Zaouïet R'hab, + 25 mètres. Ourlana, + 55 ; Tamerna Khedima, + 45 mètres ; Sidi Rached, + 54 mètres ; Bram, + 54 mètres ; Moggar, + 51 m. 50 ; Meggarin Djedida, + 54 m. 80 ; Tougourt, + 67 m. 30.

(2) Le gypse n'est pas noté, mais il est souvent très abondant.

(3) Les chiffres de ces deux colonnes indiquent généralement des épaisseurs et des profondeurs exceptionnelles.

(4) Epaisseur moyenne du gypse, 8 mètres ; épaisseur moyenne explorée par la sonde dans les sables inférieurs, 30 mètres

SYNOPTIQUE

M. G. ROLLAND

SONDAGES DE L'OUED RIR'

ÉTAGE INFÉRIEUR AQUIFÈRE. COMPOSITION.	ÉPAISSEUR explorée par la sonde Moyenne	ÉPAISSEUR explorée par la sonde Maxima. (3)	PROFONDEUR MAXIMA des sondages. (3)	PUITS FRANÇAIS TUBÉS (après la campagne de 1881-1882) NOMBRE des sondages effectués.	NOMBRE actuel de puits tubés jaillissants.	DÉBIT maximum en litres par minute	DÉBIT moyen en litres par minute	PUITS INDIGÈNES jaillissants. — Nombre en 1882.	BEHOUR irrigant effectivement.	DÉBIT TOTAL des irrigations en litres par minute	TEMPÉRATURE MOYENNE de la nappe jaillissante principale.	POIDS TOTAL moyen des sels anhydres en gram. par litre d'eau.
		mètres.	mètres.			litres.	litres.			litres.	degrés.	gram.
Sables, parfois avec sables argileux en sous-ordre	En moyenne, 20 mètres.	40	82.08	13	12	4000	1700	6	1	20 303	25.5 à 24.3	4.4
Sables très fluides, parfois avec sables argil. en sous-ordre		70	97.10	6	4	1200	700	26	1	3 050	24.6	5.3
Sables, avec sables argileux en sous-ordre.		40	97.95	3	3	2000	1500	»	2	4 716	26.1 (7)	5.4
Sables parfois très légèrement argileux.		20	77.95	2	2	1100	900	»	3	1 803	25.4	5.7
Sables..		60.30	113.54	19	18	5000 (5)	5000	»	12	61 157	25.5	5.1
Sables..		20	76.73	10	10	4000	2000	2	1	19 515	24.5	4.5
Sables, parfois avec sables argileux en sous-ordre.. . . .		30 (8 m. en moyenne.)	89.02	11	9	4000	2000	2	1	17 928	25.8	4.6 (9)
Gypse rocheux fissuré.	(4)											
Sables, parfois très lég. sable argileux.		60.10	118.05	23	14	2000 (6)	800	2	»	15 331	24.8 (8)	5.6 (10)
Sables tr. fluides, parfois avec sables argileux en s.-ordre.		45.70	103.70	11	8	4000	1400	284	»	62 413	24.8	4.3
Id.		»	84.68	3	»	»	»	151	»	14 500	»	3.9
				101	80	27300	14000	473	21	220 696		

(5) Depuis que ce tableau a été dressé, le sondage n° 4 de Sidi Amran, foré dans la campagne de 1883-1884, a donné 6000 litres à la minute, ce qui est le débit le plus élevé obtenu dans l'Oued Rir'.
(6) Le débit primitif maximum des nappes jaillissantes captées avaient été de 4000 litres par minute à Sidi Rached et de 10 litres à Ghamra.
(7) Température maxima : 26°,5 à Tinedla.
(8) Température minima : 23°,7 à Tala, annexe de Ghamra.
(9) Teneur minima : 3 gr. 6 à Sidi Silman et 3 gr. 7 à Bledet Ahmar.
(10) Teneur maxima : 6 gr. 8 à Bram et 6 gr. 3 à Ghamra.

d'un réseau de veines aquifères et de nappes secondaires, en quantité innombrable. Or, de même que les artères portent le sang du cœur dans toutes les parties du corps humain, de même la nappe artésienne de l'Oued Rir', sans cesse réalimentée souterrainement, refoule sans cesse son trop-plein d'eau dans les parties perméables des terrains environnants, où ces eaux de déperdition, encore artésiennes, mais de moins en moins, se répandent, se dispersent, remontent vers la surface et finalement s'évaporent[1].

Tel est, pour ainsi dire, le mécanisme que mes études sur le régime des eaux artésiennes de l'Oued Rir' m'ont conduit à admettre. Je me suis appuyé sur lui pour répondre, dans une certaine mesure, à la crainte souvent exprimée de voir le bassin de l'Oued Rir' s'épuiser, par suite du grand nombre de sondages déjà effectués dans le bassin.

Cette crainte traduit une préoccupation juste; mais il est inexact et prématuré de dire, comme on l'entend dire parfois, que dès aujourd'hui, dans l'Oued Rir', les nouveaux sondages ne font plus que nuire aux puits déjà existants.

La question est intéressante et a été récemment l'objet d'une controverse courtoise entre M. E. Blanc et moi à la Société de géographie[2]. Elle mérite d'être examinée ici.

Nous sommes tous d'accord que le bassin de l'Oued Rir' subit les règles communes à tous les bassins artésiens, règles que nous connaissons tous. Comme tout autre, il est limité dans son alimentation annuelle et dans son débit possible; pas plus qu'un autre, il n'est capable de fournir un débit indéfiniment croissant.

L'accroissement de son débit aura une limite, c'est incontestable. Quand cette limite sera-t-elle atteinte? L'expérience seule l'enseignera: mais jusqu'ici elle n'est pas atteinte, pour l'ensemble du bassin du moins.

Jusqu'ici et annuellement, chaque nouvelle campagne de sondages dans l'Oued Rir' a marqué une augmentation graduelle dans le débit total des eaux disponibles. Il est vrai que plusieurs fois on a vu des sondages nuire aux puits du voisinage, quand ils étaient exécutés trop près d'eux et dans des parties médiocrement dotées du bassin artésien. Mais ce sont là des cas exceptionnels, jusqu'ici assez rares, et, même dans ces cas, le débit total résultant a toujours été augmenté.

Pareils faits ne sont pas à craindre quand on exécute les nouveaux sondages loin des oasis existantes, dans des régions où l'artère artésienne n'a encore subi aucune saignée, ainsi que mes amis et moi avons procédé exclusivement dans nos créations agricoles de l'Oued Rir'.

En effet, si les puits jaillissants de l'Oued Rir' sont les points d'émergence les plus apparents des eaux de l'artère artésienne, ils sont loin d'être

1. Pour plus de détails, voir ma brochure sur l'*Oued Rir' et la Colonisation française au Sahara*. (Challamel, éditeur, 1887.)

2 Compte rendu des séances des 1er et 15 mars, du 5 avril et du 7 juin 1889.

les seuls. La grande majorité des eaux qui s'écoulent souterrainement, trouvent leur issue par les déperditions qui ont lieu de toutes parts autour de l'artère, tant par infiltrations latérales que par fuites au travers des défauts de la couverture: déperditions insignifiantes en détail, mais énormes au total.

Qu'on perce un trou de sonde, c'est-à-dire qu'on ouvre aux eaux comprimées une issue libre de résistance: il est clair qu'elles préféreront suivre cette voie; elles changeront leur cours et afflueront, d'un certain rayon, vers ce point.

Je ne crois pas à une réserve d'eau accumulée précédemment et ayant servi à alimenter, en tout ou en partie, les sondages exécutés jusqu'à ce jour. A mon sens, tout le volume d'eau que les puits de l'Oued Rir' débitent aujourd'hui à leurs orifices, est autant de moins qui se perd par évaporation à la surface des chotts ou à côté. Mais comme ce qui se perd encore surpasse de beaucoup ce qui va aux puits, et comme le rayon d'action de chaque puits est assez restreint, — 1 à 3 kilomètres, suivant les régions, — on peut dire qu'en l'état actuel, un nouveau sondage, exécuté à une distance suffisante des puits déjà existants, a lieu, non pas à leurs dépens, mais bien aux dépens des eaux de déperdition, c'est-à-dire qu'il réalise un gain.

Assurément, m'a répondu M. Blanc : seulement ce gain n'est pas et ne peut être, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel au nombre des puits forés. Il y aurait forcément diminution du rapport entre le volume total d'eau débité par tous les puits et le nombre des puits qui le fournissent, autrement dit diminution dans la moyenne du débit de chaque puits.

A mon tour, j'ai répondu à mon très distingué contradicteur en citant des chiffres, contre lesquels tous les raisonnements du monde ne peuvent rien. Voici un tableau inédit que je viens d'établir en collaboration avec M. Jus, et qui indique, de 1880 à 1889, au 1er juin de chaque année (après chaque campagne de sondages), le nombre des puits français de l'Oued Rir', leur débit total et la moyenne du débit par puits.

PUITS FRANÇAIS TUBÉS DE L'OUED RIR'

ANNÉES	NOMBRE TOTAL.	DÉBIT TOTAL par minute. — litres.	DÉBIT MOYEN par puits par minute. — litres.
1880	64	103 937	1 624
1881	70	110 937	1 589
1882	78	129 347	1 658
1883	88	136 621	1 552
1884	90	156 121	1 592
1885	104	161 451	1 552
1886	106	165 051	1 557
1887	115	172 291	1 541
1888	121	192 136	1 587
1889	127	207 136	1 607

Ainsi la moyenne du débit par puits a peu varié de 1880 à 1889, pendant neuf campagnes de sondages consécutives (les variations observées annuellement dans ce débit moyen dépendant surtout des régions plus ou moins bien dotées du bassin où avaient été exécutés les sondages), et l'on peut dire que, pendant cette période, toutes choses égales d'ailleurs, l'augmentation du débit total a été à peu près en proportion du nombre des puits forés, bien que le nombre de ces puits ait doublé. Ce sont là des faits devant lesquels il faut s'incliner.

Est-ce à dire qu'il en sera toujours ainsi? Évidemment non. Autant je crois que le bassin de l'Oued Rir', *pris dans son ensemble*, est encore loin d'être arrivé à la limite du débit maximum dont il est capable, *si on dirige de préférence les recherches futures vers les parties vierges du bassin*[1], autant je reconnais, d'accord en cela avec M. Jus, que la limite est atteinte aujourd'hui dans plusieurs parties du bassin, dans bon nombre d'oasis, par exemple, dans la plupart des oasis indigènes de la région centrale de l'Oued Rir'.

« Avant tout, écrivais-je il y a deux ans[2], nous reconnaissons qu'il importe de ne pas compromettre ce qui est acquis. A cet égard, l'absence actuelle de tout contrôle, en ce qui concerne les sondages de l'Oued Rir', n'est pas sans danger, et les colons français doivent être les premiers à offrir et à demander des garanties. Il n'est pas admissible, en effet, que de nouveaux venus puissent, dans l'ignorance du régime des diverses parties de ce bassin, soutirer tout ou partie des eaux de telle ou telle oasis, ni que des mains inexpérimentées aient le droit, en exécutant et multipliant inutilement les forages, de venir gaspiller le gisement aquifère dont dépend l'existence même de ce pays.

« D'autre part, il serait déplorable d'entraver l'industrie privée, et il faut, au contraire, se féliciter de la voir intervenir dans cette œuvre des sondages de l'Oued Rir', et lui apporter son contingent d'initiative et d'efforts[3].

« Le mieux et le plus simple, pour sauvegarder les intérêts existants, tout en laissant à l'industrie privée tout son essor, ne serait-il pas d'instituer une sorte de syndicat des propriétaires de l'Oued Rir', dans lequel on

1. Des indications détaillées, pouvant guider dans ces recherches, seront renfermées dans mon rapport sur l'hydrologie du Sahara (Mission d'El Goléa), qui doit prochainement paraître.

2. G. Rolland. — *L'Oued Rir' et la Colonisation française au Sahara.*

3. Jusqu'à ces dernières années, les ateliers militaires de sondages fonctionnaient seuls dans l'Oued Rir', sous la direction tutélaire de M. Jus. Actuellement il existe, en outre, une entreprise privée de forages, appartenant à l'une des deux Sociétés de colonisation installées dans le pays, à la Compagnie dite de *l'Oued Rir'*. L'autre Société, dite *de Batna et du Sud Algérien*, a préféré continuer à s'adresser aux ateliers militaires, avec l'autorisation de l'Administration, pour faire forer ses puits, à son compte, aux points désignés par elle. Mais demain, il peut y avoir d'autres entreprises privées de forages, suivant les convenances des nouveaux venus, d'autant plus que l'opération en elle-même est facile à entreprendre et demande peu de capitaux.

ferait entrer les principaux cheiks des oasis indigènes, les délégués des Sociétés françaises de colonisation et quelques personnalités compétentes, sans parler des représentants naturels de l'Administration? Cette commission de surveillance serait chargée d'examiner chaque année le programme des sondages projetés, dont les emplacements devraient être approuvés par elle. »

LE ZAB

Le régime des sources du Zab est fort net et fort instructif pour l'étude du bassin artésien du Bas Sahara. Il s'agit ici de sources naturelles dont les eaux artésiennes sortent toutes des terrains crétacés le long du pied méridional de l'Atlas, et qui prouvent l'existence de nappes abondantes au sein de ces terrains.

C'est dans le Zab occidental[1] et le Zab central qu'émergent les principales sources. Elles se succèdent dans ces deux régions le long de la lisière nord de la plaine saharienne, parfois au bord même des derniers reliefs de la montagne, sur une longueur totale de plus de 80 kilomètres et à des altitudes de 82 mètres à 172 mètres, de part et d'autre de Biskra. Le Zab occidental compte 35 sources ou groupes de sources principales formant une série qui se suit vers l'ouest-sud-ouest de Biskra jusqu'à El Amri et Doucen; le Zab central compte 7 sources ou groupes de sources principales, formant une série qui se suit depuis les environs de Biskra vers l'est jusqu'à Sidi Khelil et Drouen.

Les eaux de ces sources sont tièdes ou légèrement thermales, avec des températures de 19 à 30 degrés, atteignant même 34°,5 à l'un des groupes des sources du Zab central. Ces eaux sont douces et potables, bien que légèrement salines; leur teneur en sels anhydres varie de 0gr,8 à 3gr,2 par kilogramme d'eau.

Une seule source fait exception : c'est la Fontaine Chaude de Biskra, à 3 kilomètres au nord-ouest de la ville, source thermale sulfureuse à 45 degrés.

La plupart des sources du Zab occidental et central sont volumineuses et jaillissent en bouillonnant, souvent avec émissions gazeuses. Parfois ce sont de véritables rivières que l'on voit ainsi sortir du sol, à la lisière nord du Sahara : nous signalerons l'Oued Mlili, qui débite 42 000 litres par minute.

D'une manière générale, on peut dire que les points d'émergence de cette

1. Les oasis du Zab occidental comprennent elles-mêmes deux groupes que l'on distinque généralement : les oasis du Zab Dahri ou du Nord (région des sources) et les oasis du Zab Guebli ou du Sud.

remarquable série de sources se succèdent à proximité de la ligne de contact des terrains crétacés, qui constituent les massifs montagneux, au nord, et de la formation d'atterrissement ou du terrain saharien, qui constitue la plaine du Sahara, au sud.

Toutes ces sources sont alimentées par des nappes artésiennes qui circulent au sein des massifs crétacés du nord, et qui viennent jaillir le long de cette ligne de contact, au bord du Sahara. Les unes jaillissent directement des terrains crétacés, lesquels sont visibles à leurs griffons. Les autres, les plus nombreuses, correspondent à des sources également crétacées, mais masquées par une certaine épaisseur d'atterrissements, leurs eaux passant des terrains crétacés, d'où elles proviennent, dans les atterrissements superposés, au travers desquels elles effectuent un certain parcours, soit dans le sens vertical, soit dans le sens horizontal, avant d'émerger à la surface.

Dans le Zab occidental, il y a lieu de distinguer ainsi les sources dont les griffons crétacés apparaissent au jour, ou sont situés à très peu de profondeur sous la surface d'atterrissement : leur température varie entre des limites assez restreintes, généralement entre 23 et 25 degrés, et ne dépasse pas 27°,4. D'autre part, on doit mettre dans une catégorie spéciale les sources dont les eaux, tout en étant fournies par des sources semblables aux précédentes, ont effectué un parcours plus ou moins long, à peu de profondeur sous la surface d'atterrissement, avant d'émerger, et se sont, en conséquence, plus ou moins refroidies : leur température n'est plus que de 19 à 22 degrés.

Mais quand les eaux artésiennes de provenance crétacée ont eu à traverser une épaisseur notable de terrain saharien dans le sens vertical, avant d'émerger, la température des sources correspondantes de la surface croît naturellement avec la profondeur d'où elles remontent, et elle devient plus élevée que si les mêmes nappes crétacées qui les alimentent, toutes choses égales d'ailleurs, jaillissaient directement au jour : ainsi s'explique dans le Zab central, la thermalité supérieure des sources de Chetma, laquelle atteint 34°,5, ces sources se trouvant situées à une assez grande distance du contact des terrains crétacés et saharien.

En outre de la série de ces sources que l'on connaît et que l'on voit émerger le long de la lisière nord du Zab occidental et du Zab central, il n'est pas douteux qu'il existe beaucoup d'autres sources semblables, mais souterraines, le long de la même zone et sans doute aussi dans les parties du Zab situées plus au sud : sources dont les eaux artésiennes jaillissent également des terrains crétacés sous-jacents, par les affleurements ou les fractures de ces terrains, mais n'arrivent pas à remonter jusqu'à la surface au travers des atterrissements superposés et s'épanchent dans les divers niveaux perméables qu'elles rencontrent.

Les phénomènes d'infiltration ont une grande importance dans tout le Zab occidental, tant à la surface, aux dépens des sources dont les eaux retournent en majeure partie dans le sous-sol, qu'en profondeur, aux

dépens des sources souterraines, dont les eaux s'épanchent au sein des atterrissements.

Les atterrissements de cette région renferment donc, à leurs niveaux perméables, des nappes artésiennes, qui, en raison du plongement général de la formation vers le sud-est, s'écoulent dans cette direction, c'est-à-dire vers le Zab Guebli (partie méridionale du Zab occidental). Ce ne sont pas de grandes nappes, continues et étendues en direction, — à l'existence desquelles l'allure irrégulière de la formation et la prédominance des couches imperméables ne se prêteraient pas, sauf peut-être vers l'ouest. Nous croyons plutôt que les eaux souterraines du Zab Guebli tendent à se rassembler suivant certains thalwegs et suivant certaines zones relativement perméables, de manière à former des sortes d'artères ou de rivières artésiennes, aux cours capricieux, lesquelles descendent et s'approfondissent vers le sud-est, avec forte perte de charge dans leur écoulement et par suite avec pressions médiocres. Cette hypothèse de rivières souterraines, descendant vers le sud du Zab occidental et aussi du Zab central, semble confirmée par la présence de sources volumineuses à 8 kilomètres au sud de Biskra, dans le lit même de l'Oued Biskra, au point dit Rous-el-Aïoun.

On voit, d'après l'aperçu qui précède, que les régions du Zab occidental et du Zab central sont abondamment pourvues d'eaux artésiennes. Mais la plus grande partie de ces eaux n'est pas utilisée, et le fait est que les irrigations sont généralement insuffisantes dans les oasis du Zab, malgré l'importance et le volume de leurs sources.

L'étude d'une meilleure utilisation des eaux artésiennes du Zab serait fort intéressante, mais elle nous entraînerait au delà des limites de ce rapport; car les solutions à proposer varient suivant les localités, dans la description détaillée desquelles il faudrait entrer. Je préfère traiter brièvement ici la question délicate et peu connue des sondages de recherche à tenter dans les diverses parties du Zab.

Je parlerai d'abord du Zab occidental.

Disons de suite que la question n'a guère d'intérêt dans les régions qui ont une nappe ascendante à fleur de sol, — comme dans maintes parties du Zab Guebli, où les palmiers plantés ou à planter plongent naturellement leurs pieds dans l'eau, — ni dans celles qui disposent d'une nappe abondante à très peu de profondeur, — comme à El Amri, où le mieux, pour augmenter le volume des irrigations, serait de creuser en amont de l'oasis une série de puits de 4 mètres environ, dont on pourrait écouler les eaux au moyen de tranchées vers l'aval, grâce à la pente naturelle de la surface. La question de sondages profonds ne saurait se poser que là où l'on manque réellement d'eau à la surface ou près de la surface.

Ceci posé, examinons successivement le Zab Dahri (partie Nord du Zab occidental) et le Zab Guebli (partie Sud du Zab occidental).

Le Zab Dahri est surtout une région de sources crétacées, les unes

avons-nous dit, émergeant à la surface, les autres masquées et jaillissant sous les atterrissements, souvent sans doute à des profondeurs peu importantes. Malgré les relations stratigraphiques et mécaniques qui existent certainement entre les griffons de telle ou telle série, ces griffons eux-mêmes, — vers lesquels affluent les eaux artésiennes des nappes crétacées, — sont plus ou moins distincts, ainsi que les rivières souterraines ou les réseaux artésiens plus complexes qui en dérivent au sein des atterrissements. Quant aux nappes proprement dites, — avec répartition d'eaux artésiennes au sein des couches perméables des atterrissements, — il en existe assurément sous le Zab Dahri; mais, dans cette région, nous croyons qu'en général elles ont peu d'étendue, peu de volume et peu de pression.

Dès lors, s'il est vrai que les sondages ont chance de rencontrer un peu partout, dans le Zab Dahri, des eaux ascendantes et même jaillissantes (sauf cependant dans certaines parties situées à l'extrême limite nord de la région, sans aucune source en amont-pendage, et par suite relativement sèches), ils n'obtiendront, en général, que de faibles débits.

Pour obtenir des puits jaillissants à grands débits, comme les puits de l'Oued Rir', il faudrait tomber sur des sources souterraines, sur des griffons, ou des cheminées, ou des canaux artésiens, comme il en existe assurément beaucoup dans le sous-sol du Zab Dahri, mais, pour ainsi dire, en des points et suivant des lignes isolés, ou du moins dans des rayons restreints autour des sources. Les gisements aquifères, dotés de volume et de pression, se trouvant ainsi localisés, les recherches faites pour les atteindre seraient forcément aléatoires.

L'aléa pourrait d'ailleurs être diminué par une étude préliminaire de la région, et l'on pourrait, d'après l'emplacement des sources connues, la considération des lignes d'affleurement ou de fracture des terrains crétacés sous-jacents, les indications stratigraphiques des chaînes crétacées de la lisière nord du Zab occidental, arriver à présumer où l'existence d'autres sources souterraines est la plus probable.

En somme, des sondages qu'on entreprendrait dans le Zab Dahri seraient aléatoires; les uns ne donneraient rien ou peu, mais d'autres pourraient donner de beaux débits, et cela à peu de profondeur.

Si l'on s'y décidait, mon opinion est qu'on devrait se proposer surtout de capter de nouvelles sources peu profondes, et, en conséquence, de faire une série de forages, en nombre suffisant, mais peu coûteux et peu profonds, — deux petits sondages de recherches valant mieux, dans cet ordre d'idées, qu'un seul de profondeur double. On resterait de préférence dans les terrains d'atterrissement, où l'on ne dépasserait pas, sauf exception, une profondeur de 20 à 30 mètres. Quand il arriverait qu'on atteignît les terrains crétacés sous-jacents, on n'y pénétrerait guère que de quelques mètres, en général, d'abord à cause des dépenses élevées du forage au travers de calcaires crétacés, souvent très durs, et ensuite en raison de

l'aléa que présenterait également la recherche des nappes crétacées elles-mêmes, dans la région des sources qu'elles alimentent (leurs eaux devant être drainées vers les griffons de ces sources et fort inégalement réparties).

Pour recouper les nappes crétacées qui alimentent les sources superficielles et souterraines du Zab occidental, mieux vaudrait se reporter vers le nord et aller faire un grand sondage de recherche dans la plaine d'El Outaya, sous laquelle les couches crétacées forment une cuvette artésienne : dans cette plaine, Ville[1] admettait que des sondages de 240 mètres de profondeur auraient chance de réussite.

Revenant au Zab Dahri, nous ajouterons qu'il y aurait lieu, s'il était question d'y faire des sondages, de se préoccuper, avant tout, de ne pas nuire aux sources existantes, en se plaçant à une distance suffisante; car il s'agirait d'obtenir des eaux nouvelles et non de déplacer celles qui émergent déjà et sont utilisées actuellement.

Le choix des emplacements de ces sondages devrait être soumis à l'approbation de l'administration.

Dans le Zab Guebli, les conditions naturelles sont différentes et semblent plus favorables pour des sondages de recherche.

J'ai dit que cette région, située en aval-pendage des sources superficielles et souterraines du Zab Dahri et de la région intermédiaire, devait posséder en profondeur des nappes artésiennes de certain volume et de certaine pression, — sans qu'il s'agit cependant de grandes nappes continues, comme, par exemple, la nappe principale de l'Oued Rir'. J'ai ajouté que, dans cette région, les eaux souterraines devaient être fort inégalement réparties et que, se rassemblant suivant les lignes de thalweg et les zones de plus grande perméabilité des atterrissements, elles devaient donner lieu à des sortes de rivières souterraines, s'écoulant vers le sud-est.

Dans ces conditions, on peut dire que, d'une manière générale, des sondages de recherche auraient plus de chance d'obtenir des eaux jaillissantes dans le Zab Guebli que dans le Zab Dahri, et qu'ils seraient beaucoup moins aléatoires.

Mais, pour obtenir de beaux débits, la question serait d'atteindre les rivières collectrices que nous supposons exister en profondeur sous le Zab Guebli. Si capricieux que soient leurs cours, elles doivent être généralement assez larges, et l'on aurait des chances de les rencontrer ou, du moins, de s'en approcher, en se plaçant au milieu de certaines ondulations ou de certaines cuvettes nettement accusées à la surface et, de plus, en aval-pendage des principaux groupes des sources du Zab Dahri. Quant à la coupe des terrains, nous croyons qu'elle serait plus favorable vers l'ouest que vers l'est du Zab Guebli.

En somme, des sondages qu'on entreprendrait dans le Zab Guebli, après

1. L. Ville. — *Voyage d'exploration dans les bassins du Hodna et du Sahara*, 1865.

une étude préalable et spéciale de la région, auraient des chances sérieuses de réussite. On devrait être outillé de manière à pouvoir aller profondément, soit à 150 mètres, si l'on voulait obtenir de débits comparables à ceux de l'Oued Rir'. De plus, en l'absence d'indications précises, ce n'est pas un sondage, mais plusieurs sondages qu'il faudrait s'attendre à exécuter, de manière à procéder par approximations successives et à déterminer convenablement le cours des eaux souterraines.

Vu les dépenses élevées qu'entraîneraient ces travaux, il est plus que douteux qu'ils puissent être entrepris par des capitaux privés. Mais, étant donnée la portée incontestable qu'aurait leur réussite pour l'avenir du Zab occidental, ce serait à l'État ou au Gouvernement général de l'Algérie à les entreprendre.

Les considérations que je viens de présenter pour le Zab occidental s'appliquent en partie au Zab central.

Dans le Zab central, on a la région de Biskra, qui présente un intérêt tout spécial, et dont il serait bien désirable d'augmenter les irrigations. Je ne puis que répéter ce que je disais à ce propos, dans ma brochure de 1887 :

« Biskra, — placée sur la principale ligne de pénétration des chemins de fer du littoral au Sahara, — future tête de ligne du chemin de fer de Tougourt et d'Ouargla, — station hivernale dès aujourd'hui visitée par de nombreux touristes et destinée à devenir de plus en plus fréquentée, grâce à son climat et peut-être aussi grâce aux vertus curatives de la source thermale sulfureuse qu'elle possède, — Biskra mériterait que des mesures sérieuses fussent prises pour remédier à l'insuffisance d'eau dont souffre l'oasis indigène et dont souffrira bientôt la ville française : l'oasis possède une terre excellente, convenant à une grande variété de cultures; la ville verra naturellement ses besoins augmenter avec son développement prochain.

« Le meilleur moyen d'augmenter considérablement les irrigations de l'oasis serait de construire un barrage sur l'Oued Biskra, à 5 kilomètres environ en amont du fort Turc, au point où cet oued est le plus encaissé, suivant un projet dressé autrefois par le capitaine Loir : ce projet devait permettre, quand il a plu dans la montagne et que la rivière coule, de retenir une partie des eaux dans un vaste réservoir.

« Il y aurait lieu aussi d'amener en ville les eaux d'une série de sources qui se trouvent en amont, à peu de distance, et jaillissent dans le lit ou aux abords de l'oued : en captant convenablement ces sources, on obtiendrait un débit d'une certaine importance, et le même, ou à peu près, pendant toute l'année.

« Enfin on peut songer, en dernier ressort, à exécuter à Biskra, un grand sondage de recherche. »

Dès 1847, un sondage d'exploration, le premier du Sahara algérien, avait été tenté à Biskra, près de la vieille Kasba, par M. l'ingénieur en chef

des mines Fournel; mais ce sondage fut arrêté à 81^{m},65, par suite d'un accident, sans avoir rencontré aucune nappe jaillissante.

Malgré cet insuccès, M. l'inspecteur général des mines Ville, considérant la température des sources d'amont de l'oued Biskra, et évaluant la profondeur à laquelle cette température correspond, émit l'opinion[1] que, si l'on avait poursuivi jusqu'à 200 mètres environ le sondage de Biskra, on aurait sans doute trouvé de l'eau jaillissante. A mon avis, on ne peut raisonner dans une région de sources comme dans une région de nappes artésiennes régulières : les conditions pour les recherches d'eaux jaillissantes y sont, en général, beaucoup plus aléatoires; par contre, il est vrai, en certains points particuliers, on peut avoir la chance de tomber sur de belles venues d'eau, à peu de profondeur.

Quoi qu'il en soit, la question était de nature à intéresser vivement la population de Biskra, et MM. Fau et Foureau ont eu l'initiative de former, il y a quelques mois, une Société civile pour la recherche d'eaux jaillissantes dans la région. Un premier sondage vient d'être exécuté, au mois d'avril dernier, dans l'oasis même de Biskra avec le procédé canadien, qui permet, comme on sait, une grande rapidité d'avancement dans les forages et, en un mois, on avait atteint une profondeur d'environ 200 mètres, mais sans avoir trouvé d'eau jaillissante : le sondage dut être suspendu, sans doute parce que l'on était arrivé à un diamètre trop petit pour pouvoir continuer l'approfondissement. A l'automne prochain, on dit que la Société de recherches se propose d'entreprendre un second forage non loin du premier.

On ne peut qu'encourager de pareilles tentatives, du moment qu'elles ne font courir aucun risque aux sources déjà existantes, — ce dont l'Administration aura toujours le devoir de se préoccuper. Or, l'emplacement choisi pour le nouveau sondage de Biskra étant situé en aval des sources qui alimentent actuellement la ville et l'oasis, ne peut, en aucun cas, leur nuire, et, d'autre part, il est excellent au point de vue de l'utilisation des eaux jaillissantes à escompter. Quant au résultat lui-même, il reste douteux.

Je terminerai, en ce qui concerne le Zab, par quelques mots sur les régions qui s'étendent à l'est du Zab central, et que l'on peut englober sous la désignation de Zab oriental.

De ce côté, les sources font défaut, ou à peu près. C'est une plaine immense et déserte, qui règne au nord du chott Melrir, et que sillonne une série de cours d'eau descendant des monts Aurès vers le sud. Cette plaine présente, dans certaines régions, une terre végétale d'une fertilité extraordinaire; ainsi la région d'El Fayd, dont le nom signifie terrain inondé, et qui est située dans le delta terminal de l'Oued el Arab, possède un limon épais de 8 à 10 mètres, lequel rapporte en blé, paraît-il, jusqu'à

1. Ville. — *Voyage d'exploration dans les bassins du Hodna et du Sahara*, 1865

70 pour 1, lorsqu'il est arrosé par les crues ou que l'année est pluvieuse : c'était là, dit-on, du temps des Romains, un véritable grenier d'abondance, et aujourd'hui c'est le désert.

Le rêve du général Desvaux était de ressusciter l'ancien état de choses. Pour cela, le mieux, dans ces régions, est de suivre l'exemple des colons romains, d'apprendre à capter les eaux courantes et à organiser méthodiquement les irrigations, de savoir utiliser, en partie du moins, les crues volumineuses du printemps et régulariser la submersion fertilisante des régions situées en aval. Ce ne sont plus des puits qu'il s'agit ici de forer, ce sont des barrages qu'il y a lieu de construire, suivant un plan rationnel d'aménagement hydraulique, propre à tenter la science moderne de l'ingénieur : barrages de dérivation dans la plaine, barrages à pertuis dans certains points, barrages de retenue dans les gorges encaissées de la montagne, etc. Actuellement, tout se réduit à des barrages légers, de construction arabe, qui sont emportés à chaque grande crue.

LE SOUF

La région des oasis du Souf, capitale El Oued, est située à 80 kilomètres, environ à l'est de l'Oued Rir'.

Si intéressant que soit le Souf, ce ne sera jamais, avec les grandes dunes qui l'enserrent de toutes parts, qu'une région de petits jardins, et les conditions y sont incompatibles avec tout projet d'exploitation européenne. Les jardins et les villages indigènes se trouvent d'ailleurs assurés de l'eau nécessaire, grâce à la nappe ascendante dont nous avons parlé : elle est abondante ici, d'autant plus que les grandes dunes de sable contribuent à son alimentation ; quant aux oasis mêmes, elles ne sont pas situées d'une manière quelconque, mais il est probable qu'elles s'échelonnent le long d'une dépression, où se collectent les eaux, le long de l'ancien Oued Souf, aujourd'hui enfoui sous les sables.

Il serait néanmoins d'une bonne politique, de la part du gouvernement français, d'essayer quelques recherches d'eaux jaillissantes au Souf ; en cas de succès, on pourrait y cultiver des céréales, et les indigènes s'affranchiraient des exigences des caravanes tunisiennes.

Lors de l'occupation de la Tunisie, deux postes militaires furent établis dans le Souf, à El Oued et à Debila, pour surveiller nos frontières de ce côté. La division de Constantine voulant faciliter le mouvement des colonnes et des convois entre Biskra et ces nouveaux postes, résolut de créer des puits d'étapes le long de la route de Biskra à El Oued, dite route des chotts, afin d'éviter désormais le détour par Tougourt. Plusieurs sondages ont été

exécutés sur cette route par l'atelier militaire de l'Oued Rir', actuellement sous la direction de M. le sous-lieutenant Clottu, un des meilleurs élèves de M. Jus et un praticien des plus habiles. Des eaux jaillissantes ont été obtenues. Les débits sont faibles, malgré la profondeur des sondages : car on est là tout à fait en dehors de la grande artère des eaux artésiennes de l'Oued Rir', laquelle est limitée à l'est comme à l'ouest; mais ces débits suffisent largement pour des puits d'étapes.

Il serait également opportun de faciliter les communications du Souf, d'une part, avec Tougourt à l'ouest, et, d'autre part, avec Ghadamès au sud-est, en exécutant le long de ces deux routes quelques puits, qui seraient, sinon jaillissants, du moins ascendants, et permettraient aux caravanes de s'approvisionner en eau à des distances suffisamment rapprochées. Avec cinq ou six puits, la route d'El-Oued à Ghadamès deviendrait praticable aux caravanes, malgré la traversée des grandes dunes.

OUARGLA

La grande oasis d'Ouargla est située à 144 kilomètres au sud-ouest-sud de Tougourt, dans un large bas-fond, qui représente, pour ainsi dire, l'estuaire terminal de la vallée de l'oued Mya, descendant des plateaux du sud-ouest[1].

L'oasis et ses cinq annexes forment le massif d'arbres le plus considérable qu'il soit donné d'embrasser d'un coup d'œil dans le Sahara algérien; on y compte plus de 400 000 palmiers en rapport et plus de 100 000 arbres fruitiers, irrigués par environ 300 puits jaillissants indigènes, d'une profondeur de 40 mètres, en moyenne, et par un nombre encore plus élevé de puits ordinaires à bascule.

Cependant, on ne peut se dissimuler que cette région soit en pleine décadence, et il y a loin de la situation actuelle à l'ancienne splendeur dont la tradition retrace le tableau. Le fait est qu'au sud, comme au nord, on rencontre à chaque pas les vestiges d'anciens jardins, les traces d'anciens canaux d'irrigation, les orifices d'anciens puits, dont certains sont restés légendaires. Les sables, poussés par les vents du nord et de l'ouest, s'avancent maintenant à l'assaut des oasis actuelles, qu'ils entament graduellement et au travers desquelles ils font de larges trouées. Dans les oasis mêmes, les puits indigènes meurent peu à peu, et une grande partie des palmiers manque d'eau.

Aussi avons-nous applaudi quand, à la fin de 1882, la division d'Alger décida que des sondages seraient entrepris à Ouargla. La direction en fut

1. G. Rolland. — La région d'Ouargla. (*Revue scientifique*, 6 janvier 1883.)

confiée à M. le capitaine A. Le Châtelier, et l'on doit à cet officier distingué l'exécution de plusieurs puits jaillissants. D'autres sondages ont été exécutés depuis lors dans cette région ; nous regrettons de ne pouvoir donner à leur sujet des renseignements précis, mais nous savons que leurs résultats sont encourageants.

A Ouargla, malheureusement, une grave difficulté se présente pour l'évacuation du trop-plein des eaux d'arrosage. La pente dont on dispose entre les oasis et les dépressions occupées par le chott et les sebkha du voisinage est extrêmement faible, et d'autant plus faible qu'en maint endroit on a dû abaisser le niveau des jardins pour l'irrigation, les eaux artésiennes ne s'élevant pas tout à fait jusqu'à la surface naturelle du sol dans les puits indigènes. Avec les sondages, du moins, on doit obtenir des eaux jaillissant franchement à la surface et pouvoir utiliser la pente naturelle du terrain ; mais que faire si celle-ci est insuffisante ?

Il paraît que l'écoulement est fort défectueux autour des sondages récemment exécutés ; il paraît même que c'est autour d'eux une véritable inondation. Dès lors, il faut prendre une mesure radicale, voir, ainsi que je l'ai déjà indiqué, s'il n'y a pas moyen de drainer le chott même et les sebkha d'Ouargla, en creusant une grande tranchée vers le nord, au travers de la plaine qui descend doucement vers Negoussa et la sebkha Safioun.

Il est à espérer que cette question pourra être résolue d'une manière satisfaisante, et que l'œuvre des sondages d'Ouargla sera poursuivie.

Ici, comme dans l'Oued Rir', on a une artère souterraine d'eaux artésiennes, analogue comme mode de gisement aquifère, bien que moins profonde, moins importante comme volume et moins bien dotée comme pression. Cette artère doit régner, avec une allure sans doute capricieuse, mais avec continuité, le long du bas-fond d'Ouargla, depuis les environs de Negoussa, au nord, jusqu'un peu au delà de Sedrata, au sud.

Plus au sud, si l'on remonte le lit de l'oued Mya vers l'amont, et qu'on y fasse également des sondages, il serait illusoire, à notre avis, d'espérer y rencontrer des eaux jaillissantes, sauf exceptions locales, et l'on n'obtiendra, en général, que des eaux ascendantes ou d'infiltration. Il est certain néanmoins que, sans être jaillissants, une série de puits bien aménagés le long de l'Oued Mya, seraient fort utiles aux caravanes, et faciliteraient grandement le mouvement des échanges que nous devons chercher à créer et à développer entre Aïn Salah, où le commerce soudanien afflue, et Ouargla, terminus provisoire de notre futur chemin de fer.

Mais ce qui importerait bien davantage dans cet ordre d'idées, ce serait d'entreprendre résolument, avec un programme défini, une série de recherches d'eaux artésiennes en remontant l'Oued Igharghar vers le sud, le long de la ligne maîtresse de pénétration de Ouargla, Aïn Taiba, Timassinin, Amguid, etc., vers le Soudan central. C'est là une ligne artésienne d'intérêt capital pour nous, le long de laquelle nous pouvons nous installer

solidement, — sans crainte de complications diplomatiques, — que nous pouvons jalonner de puits d'eau, en plusieurs parties de laquelle nous obtiendrons certainement des eaux jaillissantes et pouvons même nous proposer de créer des oasis artificielles. A Timassinin, qui possède déjà des puits indigènes jaillissants, le succès est certain. De même, à Amguid, il ne me semble pas douteux.

La sonde artésienne peut être notre meilleure arme de conquête pacifique dans le Sahara central, et nous assurer la véritable route transsaharienne que nous devons prendre pour atteindre le Soudan, — la seule libre qui nous reste.

Paris, 10 juin 1889

DE

L'AMÉNAGEMENT DES COURS D'EAU

AU POINT DE VUE AGRICOLE ET INDUSTRIEL

PAR

M. VICTOR FOURNIÉ
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DE

L'AMÉNAGEMENT DES COURS D'EAU

AU POINT DE VUE AGRICOLE ET INDUSTRIEL

RAPPORT

DE

M. VICTOR FOURNIÉ

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le Comité d'organisation m'a fait l'honneur de me demander un rapport sommaire sur cette question, envisagée plus particulièrement au point de vue spécial qui me paraîtra le plus intéressant, de manière à fournir un point de départ à la discussion qui s'ouvrira au sein du Congrès.

Le titre est en effet si compréhensif qu'on ne peut, je le crois, provoquer une discussion utile qu'en concentrant la lumière sur un point spécial.

Je voudrais, dans les notes qui suivent, préparer la discussion sur la question délimitée sous forme aphoristique dans l'énoncé ci-dessous :

« Les opérations consistant à faire de la terre végétale de toutes pièces sont généralement ruineuses, et il s'en faut de beaucoup que l'humanité en soit au point de les entreprendre. Il en est tout autrement de celles qui ont pour but d'utiliser les approvisionnements de terre végétale toute faite et pourvue des éléments de fertilité que nous ont légués les âges antérieurs, de même que nous utilisons les approvisionnements de combustible accumulés au sein de la terre, ceux de phosphate de chaux, etc.

« A ce point de vue l'attention des capitalistes et des gouvernements doit se porter sur les alluvions anciennes des fleuves de la zone sans pluie, terrains qui peuvent être remis en valeur par des opérations d'ensemble d'aménagement des eaux, et auxquels le climat assure un rendement rémunérateur.

« Les bénéfices de ces opérations sont de beaucoup supérieurs à ceux que l'on peut espérer d'opérations analogues dans la région tempérée.

« Dans celle-ci on doit se contenter d'opérations beaucoup plus mo-

destes; mais il est utile d'arrêter la modification lente et néfaste du relief du sol en fixant les seuils en un certain nombre de points des cours d'eau. »

I

Tout d'abord rappelons que, dans ces dernières années, régnaient des idées aujourd'hui démodées sur la possibilité économique de faire sur une grande échelle un sol cultivable de toutes pièces, et des projets extraordinaires étaient dressés sur ces bases.

Les idées des chimistes agricoles sur la terre végétale se sont beaucoup modifiées et ne sont pas encore bien fixées. Pour être sûr de donner la note la plus récente, je transcris ici la définition donnée par M. Grandeau (*l'Épuisement du sol et les récoltes*, 1889) :

« La terre arable n'est pas formée, dans l'immense majorité des cas, par la juxtaposition d'argile, de sable, de calcaire et d'humus. Chacun de ces principes est associé tellement intimement aux autres que ses caractères physiques ont disparu. Chaque grain de terre, si fin qu'on le suppose, est formé par la combinaison étroite des quatre éléments. Pour les dissocier et mettre en évidence les caractères chimiques et physiques qui leur sont propres, il faut faire subir à la terre l'action de réactifs plus ou moins énergiques. Ce n'est donc point à un mélange que nous avons affaire, mais bien à un composé dont les propriétés sont la résultante de celles de chacun des principes constituants. La fertilité du sol tient en grande partie à l'intimité de cette combinaison : un mélange artificiel de calcaire, d'argile, de sable et d'humus, dans les proportions où ces principes sont associés dans une terre fertile, ne donnerait pas immédiatement naissance à un sol de fécondité comparable à cette terre, tant s'en faut. La terre végétale est un tout, distinct, par sa constitution et par ses propriétés, d'un mélange plus ou moins parfait des éléments qui le composent.

« ..... Tous les débris de végétaux que laissent sur le sol les récoltes après leur enlèvement et les détritus d'animaux qui s'y ajoutent, soit par l'apport des fumiers, soit par toute autre cause, ne tardent pas à subir, au contact de l'air atmosphérique et de l'eau, des altérations profondes. L'intervention d'êtres inférieurs, aujourd'hui très nettement établie, accentue encore les décompositions, et finalement les détritus organiques qui ont complètement perdu leurs formes primitives, demeurent associés si étroitement à l'argile, au calcaire et au sable, que l'œil, armé d'un instrument grossissant, ne peut pas les en distinguer.

« ..... Partant de ce fait incontestable qu'une terre fumée d'ancienne date et qui renferme par conséquent beaucoup d'humus, est douée d'une grande fertilité,... ignorant alors le rôle des matières minérales dans la nutrition des plantes dont elles sont les véritables aliments, Thaër pensait et enseignait que les végétaux, comme les animaux, se nourrissent exclusivement de substances organiques, c'est-à-dire d'humus. La doctrine était

fausse; nous avons vu que c'est bien d'acide carbonique de l'air, d'ammoniaque, d'acide phosphorique, de potasse et de chaux, tous éléments minéraux incombustibles, que se nourrissent les plantes; mais si l'hypothèse de Thaër n'a pu résister à l'expérience, il n'en reste pas moins vrai que l'humus joue, dans la fertilité des terres, un rôle important bien que très différent de celui que l'école de Thaër lui a attribué.

« L'humus exerce à la fois dans le sol une action physique et une action chimique dont je vais donner l'idée en quelques mots. Les belles recherches de M. Th. Schlœsing ont prouvé que l'argile, pour donner au calcaire et au sable pur la consistance d'une bonne terre arable, résistant à la séparation par l'eau des éléments qui la constituent, doit exister dans un sol dans la proportion de 10 à 12 pour 100.... Or il suffit de 1 à 2 pour 100 d'humus, associé au sable et au calcaire, pour donner au mélange une cohésion égale à celle que produit l'addition de 10 pour 100 d'argile. La matière noire qu'on désigne sous le nom d'humus est donc un agglomérant bien supérieur par son énergie à l'argile. C'est donc un élément essentiel de l'ameublissement des sols, celui-ci résultant avant tout de la cohésion des particules de calcaire, de sable et d'argile qui forment une terre. Cette intéressante observation de M. Th. Schlœsing rend compte des propriétés physiques, inexplicables sans elle, des terres noires de Russie; c'est à la présence de l'humus qu'elles doivent leur ténacité et leur ameublissement bien plus qu'à l'argile entrant à peine pour quelques centièmes dans leur composition.

« Au point de vue chimique, l'humus ne joue pas un rôle moins considérable : on pourrait le comparer, comme je l'ai fait, à un élément de digestion de certains principes insolubles, tels que les phosphates de chaux et de fer; j'ai montré que cette sorte de digestion des phosphates par l'humus met ces composés à la disposition des racines des plantes, sous une forme éminemment assimilable par elles. Le rôle des matières organiques est donc un des plus utiles pour l'amélioration des sols, le maintien de leur ameublissement; de plus il favorise l'assimilation des substances minérales, et notamment celle des phosphates par les plantes. Aussi n'est-ce que dans les sols préalablement enrichis en substances organiques, par une longue mise en culture et par l'apport du fumier, que les engrais chimiques donnent des rendements maxima. »

Nous voilà bien loin des idées purement mécaniques qui ont eu cours à une autre époque et qui avaient pour but la création d'*alluvions artificielles*. On paraît comprendre maintenant que, pour l'action agricole, le travail humain vient seulement s'ajouter comme adjuvant au lent et séculaire travail de la nature, et il se fait en ce moment une transformation économique sur laquelle il convient d'appeler l'attention.

De même que l'industrie humaine ne se contente plus de la production annuelle des combustibles sur le sol de la terre, mais exploite de plus en plus largement l'approvisionnement séculaire des combustibles : houilles,

pétroles, etc., l'agriculture ne se contente plus des produits que peut donner le sol à la condition d'une restitution régulière des éléments de fertilité. L'accélération des moyens de transport des choses, des personnes et des pensées nous a conduits à un état d'étroite solidarité économique, et toutes les régions du globe entrent en concurrence pour la production agricole.

On voit donc, d'une part, les pays à population très dense adonnée en grande partie à l'industrie employer leurs capitaux accumulés à acquérir au dehors les éléments de fertilité nécessaires pour maintenir chez eux une culture très intensive; d'autre part, les pays dont l'exploitation agricole est plus récente apportent dans le concours les avantages d'un approvisionnement séculaire des matières propres à entretenir la végétation.

L'aménagement des eaux a-t-il un rôle essentiel à remplir dans ces deux catégories de régions? Une distinction est nécessaire.

Dans les régions tempérées, il a été fait ou il se poursuit certains travaux remarquables et qui ont été très scientifiquement décrits, tels que la correction des torrents suisses, l'emmagasinement des eaux du Harz, la restauration des Alpes françaises, la mise en culture du lac de Harlem, celle de la Campine belge, etc., etc. Mais ce n'est pas, croyons-nous, dans ces régions, que l'aménagement des eaux doit jouer un rôle économique et politique capital dans un bref délai.

II

Considérons l'ensemble des terres ouvertes à l'activité de l'homme sur notre globe, et laissant de côté l'exploitation de l'Océan par les pêches maritimes, qui acquerront certainement une importance croissante, bornons-nous au terrain émergé. La région purement agricole ne dépasse guère le 60e degré de latitude nord, et n'atteint pas sur beaucoup de points cette latitude. Cette haute région mise à part, la surface agricole nous présente trois divisions très nettes :

A. Région *équatoriale* soumise aux vents alisés et au régime des fortes pluies périodiques. Pour ne pas entrer dans les détails, nous limiterons cette surface aux parallèles de 20 degrés sud et 20 degrés nord.

B. Région *intermédiaire* soumise au régime des pluies faibles et irrégulières. On peut la délimiter, dans chacun des deux hémisphères, par les parallèles de 20 et de 40 degrés.

C. Région *tempérée* à vents variables et à pluies moyennes, qui occupe dans les deux hémisphères les latitudes comprises entre 40 degrés et 55 à 60 degrés.

Les surfaces respectives occupées par ces différentes régions dans chacun des trois grands groupes ou archipels terrestres sont à peu près les suivantes, en kilomètres carrés :

	Afrique.	Amérique.	Asie avec l'Europe et l'Océanie.	Ensemble.
	kil. c.	kil. c.	kil. c.	kil. c.
A. Région équatoriale.	20.200.000	14.000.000	9.500.000	43.700.000
B. Région intermédiaire. . . .	10.000.000	10.300.000	25.500.000	45.800.000
C. Région tempérée.	0	7.200.000	18.300.000	25.500.000
Ensemble, ...	30.200.000	31.500.000	53.300.000	115.000.000
Pour mémoire, région polaire du Nord.				13.000.000
Total égal à la superficie des terres donnée dans les ouvrages de géographie.				128.000.000

Dans la région équatoriale de 43 700 000 kilomètres carrés, nous trouvons les bassins du Sénégal, du Niger, du Congo, du Zambèze, et les deux tiers du cours du Nil; les bassins de l'Amazone, du San Francisco et de l'Orénoque ; le cours inférieur du Mekong.

Dans cette région, sauf exceptions très locales, il n'y a jamais eu qu'une densité médiocre de population humaine, et la civilisation y est demeurée proportionnellement très primitive. Les fleuves y sont restés à l'état naturel, sans adaptation à l'agriculture ni à l'industrie ; et il ne paraît pas que cette situation doive se modifier d'ici à plusieurs siècles.

Il en est tout autrement de la région intermédiaire de 45 800 000 kilomètres carrés qui comprend les bassins du fleuve Orange, du Limpopo, de l'Igharghar et de l'oued Djedi, de l'oued Draa, le tiers important du cours du Nil; les bassins du rio de la Plata, du Mississipi, du Murray australien ; du Song-Coï, du Si Kiang, du Yang-tse-Kiang, du Hoang-Ho, du Gange, de l'Indus, de l'Euphrate, de l'Amou-Daria, du Jourdain, du Guadalquivir

Au point de vue qui nous occupe, celui de l'adaptation du sol et des forces naturelles au service des agglomérations humaines, la région intermédiaire a une importance capitale. C'est là que se sont épanouies toutes les grandes civilisations : de la Chine, de la Chaldée, de la Perse et de l'Inde, de l'Égypte et de la Judée, et la plus récente, celle de la Grèce, éducatrice de l'Occident. C'est là que vit encore à l'époque actuelle le plus grand nombre des hommes; c'est dans cette région que se développe en ce moment, tant au sud qu'au nord, la population de l'Amérique avec une remarquable rapidité. Enfin, sur la partie africaine et ouest-asiatique, qui semblait avoir perdu sa vitalité depuis quelques siècles, nous voyons la main japhétique se poser lourdement pour en secouer la torpeur accidentelle et préparer une rentrée prochaine sur la scène du monde de ces pays naturellement privilégiés.

C'est dans cette région que l'aménagement des eaux est une nécessité impérieuse, à raison de la rareté des pluies. Aussi les travaux de cet ordre ont-ils eu dès longtemps la notoriété que leur méritait leur lien étroit avec la prospérité et la gloire des empires.

Il y a 4000 ans que furent faits par Yu, en Chine, ces travaux d'ensemble dont M. le général Tcheng Ki Tong nous fera sans doute connaître le carac-

tère et l'importance dans la conférence qu'il a bien voulu consentir à faire à notre Congrès. A la même époque remontent les travaux hydrauliques de l'Euphrate qui ont donné à Babylone une prospérité inouïe, et les travaux d'aménagement du Nil dans la Basse-Égypte.

Il faut reconnaître que cette civilisation traditionnelle, fruit du patient labeur des races mongoliques et chamites, n'a pu résister à la conquête des Japhétiques, alors mangeurs de gland, depuis peu dégrossis, et des Sémites qui ont porté sur ces terres si obstinément subjuguées par l'agriculteur chamite la revanche du nomade.

C'est l'occupation de la Babylonie par les Séleucides, qui a été pour la Mésopotamie le signal de la ruine par abandon. Les Grecs ont apporté en Asie leurs instincts commerciaux et leur brillant esprit, mais ils ont dédaigné les enseignements de cette école empirique d'hydraulique agricole, fille de l'école d'astronomie des Chaldéens.

La ruine de Thèbes et de la Haute-Égypte s'est consommée également par abandon sous les empereurs romains incompétents par suite du dédain de la science grecque d'Alexandrie pour la science hydraulique empirique et traditionnelle des Égyptiens.

Pour citer d'autres exemples dans des contrées plus occidentales, les Italiens vivent sur les traditions étrusques, les Espagnols n'ont pas d'autres modèles d'aménagement agricole des eaux que ceux que leur ont laissés les Berbères, et les Français ne sauraient mieux faire que d'imiter et de soutenir de leur autorité leurs nouveaux compatriotes du Mzab, de l'Oued-Rir' et du Souf, représentants d'une si vieille et si respectable tradition du génie agricole.

Il n'y a rien là de flatteur pour la vanité des nations élèves de la Grèce, mais c'est la vérité : l'emploi agricole des eaux est l'œuvre d'autres peuples, courbés de plus près sur le sol nourricier, et c'est l'œuvre de plus de cent siècles de travaux accumulés et d'expérience acquise que nous devons à présent, nous dépouillant des fausses notions acquises au collège, essayer de recueillir pieusement et de développer dans l'avenir à l'aide des moyens d'action de notre industrie mieux outillée.

III

Il serait à désirer que, pour chacun des bassins de cette vaste région intermédiaire, il fût dressé une monographie approfondie et techniquement précise des travaux faits dans le passé, de ceux qui subsistent à présent, de l'état des cultures et des pratiques agricoles. M. l'ingénieur en chef Barois a donné un bien intéressant spécimen dans son beau mémoire sur l'irrigation en Égypte (1887). Dans ce travail, M. Barois ne dissimule pas les difficultés de l'investigation relative aux ouvrages passés. Dans cette terre d'Égypte tant fouillée, on n'a découvert que de bien faibles traces des monuments pharaoniques relatifs à l'utilisation et à la distribution des

eaux du Nil. Du lac Mœris, cette œuvre grandiose qui étonna les anciens, c'est à peine si les archéologues peuvent fixer l'emplacement et préciser le rôle. Deux ou trois restes de nilomètres dans des ruines de temples sont les seuls vestiges de l'intérêt qui s'est attaché dans tous les temps à la connaissance de la hauteur des crues du Nil. Quant aux murs de quai, digues maçonnées, murs de réservoirs, ponts, prises d'eau, à tous ces ouvrages qui auraient pu donner quelques indications précieuses sur les limites des bassins d'inondation, sur leur mode d'alimentation et de vidange et sur tout ce qui se rattache aux irrigations, ils ont totalement disparu. Ces ouvrages, fondés sur un sol limoneux et peu résistant, ont bien vite été ruinés par suite de la rupture des digues ou par des déplacements du fleuve; on en a perdu la trace pendant les longs siècles d'incurie et de misère qui ont passé si souvent sur l'Egypte, et leurs débris engloutis sous les eaux ou submergés sous les couches de limon ont disparu. Il ne reste peut-être plus rien du système général d'utilisation des eaux du Nil qui existait sous les Pharaons, mais les procédés actuellement en usage pour les pratiques du cultivateur, le mode d'emploi des eaux, leur élévation jusqu'au sol, la distribution des eaux, ont été pour une grande part légués à l'époque présente par les âges les plus reculés.

Les difficultés ne seront pas moins grandes pour reconstituer l'état des choses au temps prospère dans les autres grands bassins de la région intermédiaire. Il faudra porter dans cette recherche l'esprit de précision scientifique.

IV

Mais cette sorte d'inventaire n'est qu'un document préliminaire, et le véritable problème à résoudre est celui de l'aménagement d'ensemble à adopter dans chaque bassin avec les ressources de l'industrie actuelle, mais aussi avec les sujétions de la rémunération des capitaux et de la concurrence des produits agricoles qui en nivelle la valeur sur les marchés du monde entier.

Nous pensons que les ingénieurs anglais dans l'Inde ont, les premiers, abordé dans le bassin du Gange, et généralement dans l'Hindoustan, la solution du grand problème ainsi posé. Il serait très désirable qu'un des ingénieurs qui ont concouru à ces grands travaux voulût bien en rendre compte au Congrès en faisant connaître les leçons à tirer des imperfections reconnues et corrigées aussi bien que des succès obtenus. Le canal du Gange de 200 mètres cubes de débit par seconde construit par Sir Proby Cautley paraît avoir subi des remaniements considérables après sa construction.

Il sera intéressant de comparer ces résultats aux conclusions de M. Barois touchant le Nil et qui peuvent se résumer ainsi :

Substituer l'irrigation au système des bassins de submersion

en exigeant une main d'œuvre beaucoup moindre pour la culture, donne par contre des produits moins riches et moins abondants.

Diminuer le plus possible le nombre des prises d'eau en rivière, car c'est surtout à la tête des canaux qu'ont lieu les dépôts les plus difficiles à curer, et de plus, les ouvrages de prise sont coûteux à établir et à défendre;

Établir les ouvrages de prise le plus près possible de la position ordinaire du courant fluvial;

Disposer l'entrée des canaux dans des parties où le lit mineur diffère aussi peu que possible en étendue du lit majeur, et où du moins la position du lit mineur peut être maintenue dans une position stable au moyen d'épis ou d'endiguements;

Régler l'écoulement dans les canaux de façon que, pendant la crue surtout, au moment où les eaux sont le plus chargées de matière en suspension, la vitesse ne subisse pas des diminutions notables transformant certains biefs en bassins de décantation;

Organiser, autant que possible, le régime des canaux de telle sorte que la vitesse y soit toujours assez forte pour maintenir en suspension les matières limoneuses fertilisantes, sans toutefois qu'elle soit assez considérable pour corroder les berges;

Veiller à ce que les canaux ne portent que l'eau strictement nécessaire aux besoins.

M. Barois indique comme desideratum à réaliser ultérieurement la réglementation du cours du Nil dans le but de diminuer le débit des crues et d'augmenter le débit d'étiage, et rappelle le très remarquable projet de M. de la Motte qui, moyennant une centaine de millions de francs, créerait dans la plaine de Kom Ombo un réservoir de 1400 millions de mètres carrés, contenant 7 milliards de mètres cubes. On pourrait en conséquence dériver sur l'Égypte un courant continu de 400 mètres cubes par seconde, indépendamment du débit normal d'étiage du fleuve, et l'on aurait assez d'eau pour créer 400 000 hectares de terres cultivées qui n'existent pas aujourd'hui.

Cette conception mérite d'autant plus d'attirer l'attention qu'elle a été l'objet de l'examen sur les lieux et de l'adhésion de M. l'inspecteur général Jacquet. Il serait bien à désirer que les chances d'envasement du réservoir à créer ne fussent pas un motif d'y renoncer.

Le bassin du Nil n'est pas le seul où de grands projets d'aménagement des eaux soient à élaborer. Il convient de poser les principes qui doivent présider à ces projets, et c'est sur ce point que pourrait, suivant nous, se porter particulièrement la discussion au Congrès.

A titre de simple entrée en matière, et sous toutes réserves, je me permets d'insérer ici les considérations suivantes :

Il y a lieu de considérer la vallée submersible du fleuve dont on s'occupe telle qu'elle était constituée *à l'époque quaternaire* (ne devrait-on pas

aller plus loin et dire à l'époque pliocène?), avant que se soient produits les phénomènes d'érosion qui ont successivement abaissé le profil d'étiage.

Les différentes terrasses d'alluvions anciennes, ainsi que les alluvions modernes du même fleuve, constituent une réserve de terre végétale, un approvisionnement non utilisé ou incomplètement utilisé par l'homme dans le passé et dont l'exploitation à l'aide de grandes dérivations amenant l'eau du fleuve constitue une entreprise économiquement fructueuse.

Le nombre de ces dérivations doit être restreint et l'importance de chacune d'elles augmentée.

Chaque prise d'eau doit être établie en un point où le niveau d'étiage soit rendu invariable par la fixation du seuil : avec barrage mobile ou autrement, mais en tout cas un radier général *fixe*.

C'est seulement en fixant un certain nombre de points du profil en long du fleuve qu'on assurera la pérennité des prises d'eau d'alimentation des canaux et la fixité du plan d'eau souterrain de la plaine. On opposera ainsi le seul obstacle radical à la déformation progressive du profil en long des fleuves laissés à l'état naturel, déformation qui a pour suite fatale l'augmentation des désastres par les crues et la dépopulation du pays à la suite de la sécheresse croissante.

L'importance du débit d'étiage du fleuve doit être accrue par des réservoirs constitués nullement en vue de restreindre le débit des crues, mais uniquement en vue de former une réserve d'étiage.

Il doit être réservé pour le thalweg naturel du fleuve un débit d'étiage minimum, en vue d'empêcher la déformation du fond du lit par envahissement, et non en vue de maintenir la navigation, l'importance de la suspension momentanée de la navigation étant très faible par rapport aux intérêts engagés dans la culture.

L'expérience indique d'ailleurs, et sur ce point l'exemple des canaux du Gange est précieux, que les filtrations des canaux et l'égouttement des terrains arrosés ramènent dans le fleuve, peu en aval de la prise d'eau, un débit très notable.

Le tracé des grandes dérivations atteignant les plus anciennes terrasses dessert des régions souvent assez éloignées du thalweg. En conséquence, en même temps que la navigation sera maintenue dans le thalweg, il pourra y avoir intérêt à rendre navigables les grandes dérivations, en établissant des écluses à la prise d'eau, et aux points où la disposition topographique fera adopter des chutes.

Toutefois cette navigation accessoire n'est pas susceptible de donner un rendement directement très avantageux. Mais elle facilite le service d'entretien et de réparations des canaux, l'apport des matériaux et des fumiers et l'écoulement des denrées des fermes desservies, et est ainsi un très utile complément du système d'aménagement.

Avec un peu de soin on peut tirer un très fructueux parti de la pêche ainsi que des plantations le long des canaux.

Dans tout ce qui précède nous n'avons envisagé que l'aménagement des eaux du fleuve en vue de la culture, et cela principalement par l'arrosage. La fixation des seuils aura pour résultat accessoire de rendre possible l'utilisation des forces motrices soit pour élever des eaux potables aux agglomérations de la région, soit pour actionner des usines sur place, ou avec transport de la force.

V

Les vues qui précèdent ne tiennent pas compte d'un élément de perturbation fort important dans certains cas : je veux parler des mouvements généraux du sol du bassin depuis l'époque pliocène ou quaternaire. Si ces mouvements ont eu lieu en sens inverse de la pente primitive du fleuve, ils ont rendu impossible pour l'avenir la restauration artificielle de l'arrosage des hautes terrasses, et compliquent singulièrement la question de la mise en valeur des terrains dont il s'agit.

Je demande la permission de citer un exemple de cette complication.

Lorsque M. de Freycinet, alors Ministre des travaux publics, chargea une commission d'examiner les questions de communication au travers du Sahara, il se produisit un ensemble de travaux très remarquables qui jetèrent sur cette contrée un jour tout nouveau. MM. Pouyanne et Sabatier établirent que l'oued Messaoura, qui descend de l'Atlas marocain et passe aux environs d'Insalah, se trouve à une hauteur qui en fait un affluent du Niger au-dessous de Tombouctou, avec lequel il peut communiquer en temps de crue par le grand triangle marécageux dépendant des terrains de parcours des Touareg Aouelimmiden.

Mais si l'on considère sur la carte d'ensemble publiée par le Ministère des travaux publics la disposition des lieux depuis Tombouctou jusqu'à la Méditerranée, on est invinciblement saisi par la pensée que le résultat important qu'on vient de rappeler n'est que la moitié de la vérité, et à le compléter ainsi :

Le Niger, à la fin de l'époque pliocène et au commencement de l'époque quaternaire, a coulé, à partir de Tombouctou, vers le nord, la barrière de basalte d'Idélès n'existant pas alors, a recueilli en route l'oued Messaoura; et le lit actuel de l'Igharghar, avec les vastes branches qui accusent la trace d'un si important système hydraulique, n'est autre que le lit de ce proto-Niger.

L'épanchement du basalte du Ahaggar a répondu à un bossellement qui a placé des saillies de 400 mètres sur le parcours du Niger; c'est alors que ce fleuve s'est trouvé obligé de se contourner à Bourroum et de descendre une série de cataractes.

Il a laissé vide et à sec son ancien lit en aval du Ahaggar, les cours d'eau secondaires des Ighargharen et les lacs qui communiquent avec eux

en temps de crues sont restés remplis de poissons qui fréquentaient le Niger; des ateliers de fabrication de silex demeurent sur les bords de l'Igharghar comme des témoins d'une époque où la région était habitable et habitée; les anciennes alluvions, successivement émergées et asséchées, se sont trouvées livrées à l'action du vent et ont donné des dunes.

La lente progression de ces mouvements du sol explique la transformation progressive aussi qui s'est produite dans le régime de l'oasis du Souf par exemple.

Si cette vue est exacte, et nous ne prétendons pas nous élever au-dessus d'une probabilité à cet égard, on s'explique fort bien les traditions anciennes conservées au sujet du fleuve et du lac Triton; on comprend aussi que les forêts existantes n'ont disparu que progressivement, et, sans chercher des explications hypothétiques sur un changement de climat par un phénomène cosmique, on peut voir dans cette lente et progressive extinction des forêts le motif de la sécheresse exagérée de la région située entre l'Aurès et le chott Melr'ir, région autrefois habitée par les Romains, qui doivent avoir d'ailleurs contribué fortement à son déboisement rapide, et bien abandonnée depuis.

Mais si la sécheresse dont il s'agit n'est qu'un phénomène local secondaire, on peut légitimement songer à la vaincre par des travaux appropriés, et c'est là l'intérêt pratique de l'hypothèse scientifique que nous venons de formuler.

M. Alphonse Beau de Rochas, ingénieur, a publié en 1888 un mémoire intitulé : *Oasis et Soudan*, dont nous nous bornons à signaler la première partie qui traite de la captation et de l'emmagasinement des eaux provenant du versant méridional de l'Atlas depuis Laghouat jusqu'à Negrine (bassins de l'oued Djedi, de l'oued Biskra, de l'oued El 'Abiod, de l'oued El Arab, tributaires du chott Melr'ir...) Il établit fort bien, croyons-nous, la possibilité de faire des travaux progressifs et fructueux dans cette région.

Au sud de la ligne de l'oued Djedi et du chott Melr'ir il n'y a plus de captage d'eaux superficielles possible; mais les eaux artésiennes provenant des pluies tombées sur l'Aurès, s'il faut en croire les auteurs, — provenant suivant moi des pluies tombées sur le Ahaggar et sur la région montagneuse qui en dépend — n'ont pas dit leur dernier mot; aux lignes de puits du bassin d'Ouargla et de l'oued Rir' viennent se joindre les puits existants dans le lit même de l'Igharghar et la nouvelle série de puits obtenus au sud du chott Melr'ir aux abords de Gabès.

Le travail de reprise de la civilisation sur le désert se prépare visiblement et ne peut que s'accélérer maintenant que la locomotive vient de pénétrer dans le Sahara lui-même, à Biskra.

VI

Il ne nous paraît pas douteux que les grandes et fructueuses entreprises

fondées sur l'utilisation des eaux fluviales seront longtemps concentrées sur la région intermédiaire que nous avons définie, où l'eau est rare et précieuse et où le soleil donne sa chaleur sans compter.

Toutefois, même dans la région tempérée, des entreprises analogues sont possibles, mais elles exigent une étude préalable beaucoup plus détaillée que celle que l'on a été jusqu'ici disposé à leur consacrer.

Il semble que si les données de la statistique hydrométrique recueillies par les services spéciaux chargés des cours d'eau étaient libéralement mises à la disposition des travailleurs au lieu d'être enfouies dans des archives inaccessibles, il serait possible de définir pour chaque bassin, non pas en vue des inondations, mais en vue de l'utilisation normale, des réserves d'eau à obtenir par des barrages appropriés. On pourrait assurer ainsi un service plus régulier pour les besoins de la navigation, de l'agriculture et de l'industrie.

Beaucoup de voix se sont élevées depuis vingt-cinq ans en faveur de ces études, sans succès d'ailleurs. Ces études ne sont cependant pas bien difficiles et elles sont fort attrayantes. Mais elles supposent la possession des données d'observation hydrométrique pendant le plus grand nombre d'années possible.

Dans la région tempérée comme dans la région intermédiaire, l'action érosive des eaux agit continûment et le profil du sol va se transformant d'une manière très fâcheuse en ce que les crues deviennent plus redoutables, en ce que le thalweg formant drain de plus en plus profond assèche d'une manière de plus en plus nuisible les terrains à grande distance, en ce que les ouvrages d'art ont besoin de remaniements périodiques.

Pour ralentir ces actions néfastes et conserver au sol national toute sa valeur dans la mesure permise à la prudence humaine, il faut fixer par des seuils traversant le cours d'eau tout entier un certain nombre de points de chaque cours d'eau.

Versailles, 31 mai 1889.

DE

L'AMÉNAGEMENT DES COURS D'EAU

AU POINT DE VUE AGRICOLE ET INDUSTRIEL

PAR

M. BAROIS
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, secrétaire général du Ministère
des travaux publics d'Égypte.

DE

L'AMÉNAGEMENT DES COURS D'EAU

AU POINT DE VUE AGRICOLE ET INDUSTRIEL

RAPPORT

DE

M. BAROIS

Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, secrétaire général du Ministère des travaux publics d'Égypte.

La possibilité de détourner les eaux des fleuves et des rivières et même des simples ruisseaux et de les répandre aux époques favorables sur les champs pour développer les cultures, enrichir et fertiliser la terre, est toujours un bienfait si précieux qu'on s'étonne de voir trop souvent négligées les énormes ressources agricoles que transportent avec eux nos cours d'eau. Utile partout, indispensable souvent, l'arrosage répond, en effet, dans chaque région, à des besoins agricoles nettement définis et bien connus, mais qui diffèrent notablement suivant le climat, l'altitude, la nature du sol et la qualité des eaux.

Dans le nord et le centre de la France, dans les pays montagneux, où les pluies règnent à peu près toute l'année et où les conditions atmosphériques permettent en général de compter sur un bon rendement des récoltes, ce que l'agriculteur demande à l'irrigation et notamment aux submersions d'hiver, c'est surtout d'augmenter la valeur du sol de ses prairies, d'en accroître le produit et, s'il le peut, d'en étendre la surface.

Dans le midi de la France et le nord de l'Italie, où le soleil est plus ardent, les pluies d'été plus rares, l'eau d'irrigation sert à assurer une production normale et régulière des cultures de toutes sortes en leur permettant de lutter victorieusement contre les fortes chaleurs et les longues sécheresses.

Un bon aménagement des eaux est encore plus nécessaire à une situation agricole prospère dans des pays comme le midi de l'Espagne et l'Algérie, où la saison même des pluies d'hiver, toujours courte, est parfois presque supprimée et où la plupart des cours d'eau sont à sec pendant l'été.

Sous des latitudes plus rapprochées de l'Équateur, comme dans les

Indes, les arrosages, outre qu'ils sont indispensables à certaines récoltes, sont considérés comme apportant une telle sécurité à la production du sol, que le gouvernement anglais a regardé le perfectionnement et l'extension des ouvrages d'irrigation comme le moyen le plus pratique de combattre les terribles famines qui décimaient périodiquement ce pays et que, depuis trente ans, il y a dépensé dans ce but des sommes énormes et exécuté des travaux considérables hors de proportion avec tout ce qui a été fait ailleurs.

Enfin, l'emploi agricole des eaux est une condition absolue de l'existence dans les régions déshéritées au point de vue du climat, chaudes et sans pluies, telles que l'Égypte, où rien ne pousserait d'un bout à l'autre de l'année sans le secours de l'eau du Nil.

Ainsi, suivant les circonstances, suivant les climats, le bénéfice qui résulte de l'irrigation varie depuis une simple augmentation de rendement de la terre jusqu'à devenir une condition primordiale de l'agriculture. Mais, quoi qu'il en soit, dans aucun cas ce bénéfice ne doit être dédaigné; car l'utilité d'un ouvrage d'irrigation ne doit pas être envisagée seulement d'après les nécessités plus ou moins grandes qui ont conduit à l'exécuter, mais aussi d'après les produits effectifs qui sont la conséquence de son établissement. Or, même dans les pays les plus favorisés, tout accroissement de production agricole obtenu par un usage économique des forces naturelles constitue toujours une facilité nouvelle pour lutter contre la concurrence qui est la loi fatale de la vie moderne, et apporte par suite avec lui une augmentation de bien-être qu'il importe de ne pas laisser échapper.

Quelques chiffres permettront d'ailleurs d'apprécier jusqu'à quel degré l'aménagement des cours d'eau au point de vue agricole peut influer sur la richesse publique et par suite quel intérêt doivent porter l'agriculteur, l'ingénieur et le législateur à rechercher tous les moyens de réaliser une judicieuse utilisation des eaux.

Je rappellerai seulement à ce sujet les données générales qu'avait admises la commission supérieure créée en 1878, par le gouvernement français, pour étudier les questions relatives à l'utilisation des eaux, données extraites du remarquable rapport présenté à cette commission par M. Perrier, inspecteur général des Ponts et chaussées.

L'irrigation procure en moyenne un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare, déduction faite de toutes charges résultant de l'arrosage; la plus-value foncière qu'acquiert une terre mise à l'arrosage peut, en conséquence, être évaluée à environ 4000 francs l'hectare; elle peut même atteindre un chiffre plus élevé pour les terres de mauvaise qualité.

Le limonage pratiqué avec les eaux troubles des crues peut, après achèvement de l'opération, procurer une plus-value de 2000 francs au moins par hectare, et la plus-value serait même de beaucoup supérieure à

cette somme si, après le colmatage, on pouvait arroser régulièrement la terre.

Les vignes de plaine de la région du Midi qui peuvent par la submersion être protégées contre les attaques du phylloxera produisent un revenu net de 600 francs par hectare, et lorsque, faute de submersion, la vigne est détruite, la terre ne donne plus que de très faibles produits; l'accroissement de revenus résultant de la submersion des vignes est donc au moins de 500 francs par hectare.

Si, d'autre part, on envisage le côté industriel de la question, on reconnaît que l'aménagement d'un cours d'eau pour la navigation ou l'irrigation est loin d'être un obstacle à l'utilisation de sa puissance hydraulique. S'il est, en effet, des cas exceptionnels où l'insuffisance des débits oblige à maintenir les retenues aussi étanches que possible, en général les chutes créées pour le besoin des transports ou des arrosages sont parfaitement adaptées à des usages industriels. La mise en valeur de toutes ces chutes artificielles ainsi que de toutes les forces motrices accumulées dans les eaux courantes et dans les chutes naturelles représente également une ressource considérable pour un pays et dont le développement mérite la plus sérieuse attention.

Dans son rapport déjà cité plus haut, M. Perrier estime, en effet, de 150 à 200 francs la somme payée en France, selon les localités, pour une force hydraulique représentée par un volume d'eau de 100 litres par seconde tombant d'une hauteur de 1 mètre, tandis que la même force obtenue par la vapeur coûterait quatre fois plus.

Ce ne sont là que des évaluations moyennes applicables à la France et aux pays analogues; elles sont suffisantes cependant pour poser les bases économiques du problème et pour en faire ressortir toute l'importance si l'on met en regard la quantité prodigieuse de forces vives que chaque contrée laisse s'écouler sans profit dans le lit de ses rivières; et cela, sans compter que, dans certaines circonstances spéciales, un bon aménagement des cours d'eau peut encore contribuer directement à étendre la surface cultivable, soit en transformant, par des colmatages, des champs incultes de galets en terres fertiles, soit en facilitant l'asséchement et l'assainissement de marécages insalubres et de terrains pourris par une humidité persistante.

Mais en ces matières, où il s'agit de travaux ayant pour objet soit de créer une valeur purement locale ou du moins régionale, soit de produire une plus-value directe des propriétés sur un point déterminé du territoire, les données statistiques générales ne sont pas toujours une protection efficace contre les mécomptes, aussi chaque cas particulier doit être examiné avec le plus grand soin au point de vue de la dépense et des recettes. Et c'est là une considération qui, en pratique, limite souvent l'usage des eaux; car l'ingénieur ne parvient pas toujours à présenter une solution technique financièrement admissible; or, en agriculture, comme

en industrie, toute dépense non rémunératrice ne doit pas être faite; il n'y a d'exception à cette règle que lorsque l'aménagement agricole d'un cours d'eau se rattache à certains intérêts généraux que l'État a charge de représenter et en vue desquels il consent à participer dans les frais pour une part proportionnée à ces intérêts.

Ceci m'amène à signaler un fait qui souvent apporte plus d'entraves que les obstacles naturels au développement de l'utilisation agricole et industrielle des eaux, je veux parler de la difficulté bien connue de réunir les capitaux nécessaires à l'exécution des travaux de cette nature, soit qu'on s'adresse à des sociétés, soit qu'on cherche à grouper en syndicat les intéressés eux-mêmes. Ce n'est pas que l'argent ainsi employé ne puisse certainement donner des bénéfices; bien des exemples le prouvent; un devis d'ouvrages hydrauliques peut être établi en recettes et en dépenses avec autant de précision que pour n'importe quel autre travail, et toutes les fois que, dans des conditions moyennes, une taxe annuelle de 50 à 70 francs par hectare irrigué assure un intérêt suffisant aux fonds engagés, on peut compter sur la prospérité de l'entreprise; mais il est constaté que le revenu arrive lentement dans toutes les opérations d'ensemble ayant pour but l'amélioration d'un territoire réparti entre un grand nombre de particuliers; les commencements de l'affaire sont toujours pénibles et c'est là ce qui rend le capital timide.

Cette lourdeur des débuts est d'ailleurs inhérente à la nature même des choses. Il ne s'agit pas, en effet, comme dans une industrie ordinaire, de créer une marchandise qu'on offre ensuite à un acheteur anonyme au prix fixé par la concurrence du marché; l'eau d'irrigation ne peut être débitée qu'à une catégorie bien déterminée et limitée de preneurs dont on doit faire entrer en ligne de compte la plus ou moins grande bonne volonté, l'esprit de routine, la négligence ou l'ignorance de leurs propres intérêts, le peu de confiance dans une entreprise discutée et parfois dénigrée, la tendance à ne céder qu'à la force de l'exemple et à la constatation du succès. Ajoutons à cela que pour rendre un champ propre aux arrosages, il faut lui faire subir des travaux préparatoires de nivellement, d'épierrement, etc., qui s'élèvent parfois jusqu'à 1000 francs par hectare et dont les frais peuvent encore faire reculer l'agriculteur.

Pour ces raisons sans doute, indépendamment de l'intérêt général qui s'attache à une bonne réglementation et à une équitable distribution des eaux, dans la plupart des pays pour lesquels l'irrigation a une importance primordiale, le gouvernement a la haute main sur tout ce qui s'y rapporte. Les Anglais eux-mêmes, qui cependant par leurs habitudes semblent opposés à l'intervention gouvernementale directe dans les affaires de cette nature, n'ont pas hésité, dans les Indes, à faire d'énormes emprunts d'État pour les travaux d'irrigation, à confier aux ingénieurs mêmes de l'État l'exécution de ces travaux et à percevoir administrativement les taxes d'arrosage; et s'ils ont été amenés à adopter cette solution, c'est après

avoir fait un essai malheureux des compagnies d'irrigation. Quoique ces Sociétés eussent été constituées très largement, dans des conditions très avantageuses, avec garantie d'intérêt de 5 pour 100, elles ne réussirent pas et leurs travaux durent être rachetés par le gouvernement.

En Égypte, c'est le gouvernement qui dispense lui-même aux populations les eaux du Nil.

En Italie, l'État possède maintenant presque tous les canaux du Piémont et de la Lombardie.

En France, l'action de l'État est mitigée ; elle comporte en général des subventions aux syndicats ou aux sociétés, la déclaration d'utilité publique pour faciliter les expropriations, le contrôle des travaux et de la distribution. La commission supérieure de 1879, trouvant ce mode d'intervention insuffisant, recommandait de préférence au gouvernement de prêter aux syndicats l'appui de son crédit pour faire les emprunts nécessaires et de garantir aux sociétés un minimum de revenu, les versements faits au titre de la garantie étant ensuite remboursés sur les excédents de recettes. Malgré tout, les grandes opérations d'aménagement d'eau ne se développent pas en France et il y a lieu de se demander si, lorsqu'il s'agit de travaux intéressant une partie importante du territoire, lorsque ces travaux touchent des fleuves ou de grandes rivières, l'État, de qui relève l'administration de ces eaux, qui font partie du domaine public, ne doit pas user plus directement de ses puissantes ressources et de sa forte organisation pour approprier lui-même ces cours d'eau aux usages agricoles, comme il le fait déjà pour la navigation. Il y a là un capital naturel considérable qui dort sans utilité; le faire fructifier est une œuvre d'utilité publique et nationale dont l'État doit poursuivre la réalisation par tous les moyens en son pouvoir.

En principe tout cours d'eau doit d'abord être mis en tel état que ses fluctuations ne compromettent ni les cultures, ni les agglomérations d'habitants, ni les autres intérêts riverains, et que, au contraire, l'écoulement des eaux pluviales ou stagnantes soit toujours parfaitement assuré. Cette double condition remplie, le but théorique à atteindre serait, autant que cela est pratiquement et économiquement possible, qu'aucune molécule liquide ne se perdît dans la mer sans que le pays qu'elle a traversé n'eût profité de sa puissance motrice, de ses facultés fertilisantes et de ses qualités sous le rapport de la navigation.

En fait, cet idéal sera le plus souvent impossible à atteindre, à cause des variations de débit des cours d'eau et des époques auxquelles se produisent les crues et les étiages, et la meilleure utilisation des eaux s'obtiendra par une certaine conciliation des intérêts en présence.

En ce qui concerne spécialement le sujet qui nous occupe, les divers travaux d'aménagement des cours d'eau peuvent se classer comme il suit :

1° Emploi des hautes eaux d'hiver pour la submersion des prairies ; cette utilisation des crues est considérée par certains auteurs comme telle-

ment importante qu'ils en font la principale question de l'aménagement agricole des eaux.

2° Dérivation des eaux pour être employées, soit dans la vallée même, soit sur des territoires plus ou moins éloignés, à l'irrigation de toutes espèces de cultures pendant la saison sèche; ces dérivations peuvent être parfois considérables et comporter la construction d'épis ou de barrages dans les cours d'eau qui les alimentent.

3° Dans les régions où les cours d'eau sont à sec ou à peu près pendant la saison des irrigations et où la saison des pluies est de courte durée, emmagasinement des eaux de pluie dans des réservoirs pour être distribuées pendant l'été.

4° Lorsque les cours d'eau, bien qu'ils soient permanents, ont un débit trop faible pendant la saison des irrigations pour les divers besoins qu'ils doivent desservir, création de réserves par l'emmagasinement d'une partie du débit des crues.

5° Utilisation des alluvions contenues dans les eaux pour créer, par des colmatages, des terrains fertiles et propices aux irrigations.

6° Adaptation à l'usage de l'industrie des chutes naturelles grandes et petites qui sont sur les cours d'eau et des chutes artificielles créées pour l'irrigation et la navigation sur les rivières, sur les canaux ou à la sortie des réservoirs. Je signalerai à ce sujet que tout ouvrage de navigation ayant pour but, sur une rivière, de relever le plan d'eau de façon à le maintenir à un niveau fixe pendant l'étiage, est un des meilleurs ouvrages à utiliser pour l'irrigation; il suffit le plus souvent, pour l'approprier à cet usage, d'établir en amont du barrage une prise de canal d'un débit calculé, bien entendu, de façon à ne pas abaisser la retenue. C'est en même temps un ouvrage dont la chute, en tant que le débit du cours d'eau le permet, peut être employée comme force motrice; et il y a lieu de se demander et de rechercher pour quelles raisons législatives ou autres ces ressources ne sont pas recherchées davantage par l'industrie. Car si, tant que le transport de la force à distance est une question non encore résolue au point de vue pratique, il peut être parfois difficile d'utiliser de magnifiques et puissantes chutes situées en des points d'accès difficile, il ne saurait en être de même sur le bord des rivières canalisées où la rivière elle-même est une voie économique de communication. Toutes les chutes créées sur les canaux d'irrigation sont aussi facilement utilisables, et de fait elles le sont assez souvent; il pourrait en être de même sur la plupart des canaux de navigation, et cela sans augmenter beaucoup la vitesse du courant, car c'est la même eau qui sert à chaque chute successive. Cette puissance motrice produite par les chutes naturelles ou artificielles peut même être utilisée pour mettre en mouvement des appareils hydrauliques qui permettent de relever les eaux au-dessus du fond de la vallée et d'arroser des terres hautes. Un des meilleurs exemples qu'on puisse citer à ce sujet est celui de la Dora Baltea en Italie, où, au moyen de turbines mues par des

eaux empruntées à des canaux d'irrigation et reprises ensuite pour la culture, on élève jusqu'à 50 mètres au-dessus du fond de la vallée l'eau destinée à arroser le sommet des coteaux.

Quoi qu'il en soit de cette classification des divers travaux d'aménagement des cours d'eau, c'est seulement par une connaissance approfondie des ressources hydrologiques de chaque région, du régime des eaux, des besoins de l'agriculture et de l'industrie locales qu'on arrivera à trouver quels sont les procédés appropriés à chaque circonstance, car on ne peut fixer de règles générales pour l'aménagement des cours d'eau. Les ingénieurs seront d'ailleurs sérieusement aidés dans leurs études par l'examen des nombreux exemples qu'ils rencontreront dans les pays qui se sont plus particulièrement occupés d'irrigation, et notamment en Italie, en Espagne, en France, dans les Indes, en Égypte. Aussi, sans m'arrêter à l'examen des divers cas qui peuvent se présenter dans la pratique et sans rechercher pour chacun d'eux la meilleure solution, qui ne serait jamais que la solution théorique d'un problème imaginaire, il me semble préférable d'exposer brièvement ce qui se pratique dans un de ces pays qui vit par l'irrigation et sur lequel les données précises sont peu répandues : je veux parler de l'Égypte.

Ce n'est pas que les systèmes qui y sont adoptés doivent être considérés comme des types souvent applicables; mais cependant il peut être intéressant de les examiner parce que, si je puis m'exprimer ainsi, ce sont des systèmes absolus au point de vue de l'usage agricole des eaux, le pays n'étant rien que par ses eaux et le gouvernement n'y vivant en réalité que du revenu des eaux.

L'Égypte proprement dite est formée par une longue vallée dont la partie méridionale, s'étendant du 24e au 30e degré de latitude, a une largeur variable ne dépassant guère une vingtaine de kilomètres et dont la partie septentrionale, à peu de distance au nord du Caire, est constituée par un épanouissement traversé par les deux branches du Nil, celle de Rosette et celle de Damiette, grand delta qui a 160 kilomètres de hauteur et 140 kilomètres de base. Cette vallée a une pente moyenne de 0m,10 par kilomètre. La superficie totale du territoire cultivé par le moyen de l'eau du Nil est de 2 100 000 hectares; le sol en est plat, régulier, et est entièrement composé de limon sur une énorme épaisseur.

Quant au fleuve qui arrose ce pays, il débite chaque année 100 milliards de mètres cubes d'eau dont les deux tiers pendant les trois mois d'août, de septembre et d'octobre; commençant à monter à Assouan, c'est-à-dire à l'entrée de l'Égypte cultivée, dans le courant de juin, il atteint son maximum entre le 15 août et 1er octobre et redescend ensuite plus lentement jusqu'au mois de juin de l'année suivante. La montée totale est en moyenne de 8 mètres à Assouan; au Caire elle est de 7 mètres. Le niveau du sol de la vallée est de 8 à 10 mètres au-dessus des basses eaux vers Assouan, de 5 à 6 mètres vers la pointe du Delta.

Les eaux du Nil sont employées de deux façons, pour des submersions et pour l'irrigation, et, dans les deux cas, c'est le gouvernement lui-même qui dirige par ses agents tout ce qui se rapporte à l'aménagement des eaux et à leur distribution.

Le procédé de culture par submersion, c'est-à-dire par l'utilisation des eaux de la crue au moment même où celle-ci se produit, remonte à la plus haute antiquité, et il est encore très important, le système des bassins d'inondation étant celui qui règne dans la plus grande partie de la Haute Égypte.

En principe, un groupe de bassins d'inondation est formé d'un réseau de digues insubmersibles, l'une longeant le fleuve et les autres, transversales à la vallée, s'étendant du fleuve au coteau; un canal d'alimentation principal sert à remplir les bassins; il est établi à un niveau tel qu'il commence à être alimenté lorsque la crue est à peu près à la moitié de sa montée moyenne; ce canal est muni d'ouvrages régulateurs aux points où il coupe les digues transversales; enfin des ouvrages de déversement au Nil permettent la vidange des eaux. Chaque groupe de bassins est généralement disposé de façon à pouvoir suppléer, en cas de besoin, à l'alimentation des bassins du groupe inférieur. Il y a des séries de bassins, comme ceux du canal Sohaghieh et du Bahr Youssef, qui comprennent jusqu'à 140 000 et 170 000 hectares, et certains bassins ont jusqu'à 20 000 hectares; un d'eux a même 34 000 hectares de superficie.

Les eaux séjournent sur les terres pendant quarante-cinq jours en moyenne, et c'est lorsqu'elles se sont écoulées qu'on commence à semer la récolte unique que porte annuellement la terre et qui atteint sa maturité au printemps.

La région des bassins a comporté d'ailleurs de tout temps une autre sorte de culture qui se fait principalement sur les terres élevées bordant le Nil et qui, dans certaines provinces, prend une grande extension; cette culture a lieu par irrigation au moment où le Nil monte, et l'eau lui est donnée au moyen de machines puisant, soit dans le fleuve, soit dans des canaux spéciaux peu profonds qui ne se remplissent que pendant la crue.

Des travaux importants sont aujourd'hui entrepris sous la direction du lieutenant-colonel Ross, inspecteur général des irrigations, pour assurer l'alimentation régulière des bassins et l'arrosage des terres hautes, même par les plus faibles crues. Le but qu'on se propose est principalement de diminuer l'étendue de chaque groupe de bassins de façon à ce que toutes les terres puissent recevoir plus directement du fleuve les eaux limoneuses qui les fertilisent et de relier d'une façon plus étroite les groupes de bassins entre eux en faisant servir les eaux d'un canal d'alimentation supérieur à l'irrigation des terrains élevés situés en aval et au remplissage des premiers bassins du groupe inférieur, dont l'inondation est toujours très aléatoire. Les principaux travaux à exécuter pour cela sont des endiguements, des prolongements de canaux, des siphons pour faire passer les

eaux des canaux supérieurs sous les têtes des canaux d'alimentation inférieurs, des ouvrages régulateurs, etc. ; quelques-uns de ces ouvrages sont considérables, un des siphons n'a pas moins de 110 mètres de long et doit débiter 45 mètres cubes par seconde; un des ouvrages régulateurs aura 25 arches de 3 mètres d'ouverture. La dépense de ces nouveaux travaux est évaluée à 19 000 000 de francs et la nécessité de leur exécution ressort de ce fait que, en 1888, année où la crue avait atteint un maximum inférieur de $1^{m},10$ seulement à la moyenne, 110 000 hectares sont restés incultes faute d'eau et la perte qui en est résultée pour le Trésor a été de près de 8 000 000 de francs.

Non seulement l'Égypte utilise les eaux de la crue pour les bassins d'inondation, mais encore, dans les régions cultivées par irrigation, tout un réseau spécial de canaux peu profonds, à sec pendant l'étiage, porte en abondance sur toute la surface du pays ces eaux fertilisantes pour préparer par des submersions les cultures qui pousseront pendant l'hiver ou pour arroser les produits qui, comme le maïs, semés au commencement de la montée en juillet, sont mûrs en septembre. Au moment de la crue, les provinces du Delta dépensent ainsi trois à quatre fois plus d'eau que pendant l'étiage, et l'outillage des canaux publics qui sert à cette distribution, sans compter les canaux d'irrigation permanente qui reçoivent aussi ces eaux, n'est pas inférieur à 4000 kilomètres pour une superficie de terres cultivées égale à 1 150 000 hectares.

Le système des bassins d'inondation, aussi ancien que l'Égypte, est relativement simple; à une époque de l'année où en général l'eau abonde dans le fleuve pour tout le monde, il suffit de la répandre partout à un niveau convenable; mais aussi, ce procédé ne peut donner que des récoltes vivant de l'humidité accumulée dans le sol pendant le séjour des eaux et qui, semées en novembre, sont enlevées en mars ou avril. Quant à l'irrigation qui a pour but d'assurer en tout temps l'eau à la terre, surtout pendant l'étiage, et qui permet de cultiver en toute saison et par suite de faire produire au sol toutes les plantes que le climat comporte, l'irrigation qui commande l'économie dans l'usage de l'eau et un contrôle sévère de la distribution, ce n'est que sous Méhémet-Ali qu'elle a été établie dans ce pays. Elle s'y est vite développée et, depuis quelques années surtout, elle est entrée dans une période de grands perfectionnements sous l'impulsion énergique de Sir Colin Scott Moncrieff, sous-secrétaire d'État au Ministère des travaux publics.

L'aménagement des eaux du Nil pour l'irrigation repose surtout sur l'emploi de grandes dérivations à fort débit. Je parlerai seulement des deux ensembles d'ouvrages qui sont :

le canal Ibrahimieh, destiné à l'irrigation de la Moyenne Égypte;

le grand barrage du Nil qui commande l'irrigation du Delta.

Le canal Ibrahimieh est disposé pour assurer trois services distincts :

En premier lieu, il donne, pendant l'étiage et pendant la crue, l'eau

d'irrigation à une bande de 260 kilomètres de longueur sur 5 à 6 kilomètres de largeur réservée à cet effet au bord du Nil et qui, séparée du fleuve par une digue insubmersible, est encore isolée de l'autre côté, par une seconde digue insubmersible, d'une chaîne de bassins d'inondation qui règne tout le long du coteau parallèlement à la zone irriguée;

En second lieu, il porte pendant la crue l'eau d'inondation dans les bassins indiqués ci-dessus, qui représentent une superficie de 170 000 hectares;

En troisième lieu, par un ancien cours d'eau nommé le Bahr Youssef, qui sert pendant la crue à remplir les bassins, il fournit l'eau toute l'année, à 300 kilomètres de distance de sa prise, à une province isolée de la vallée principale, le Fayoum, comprenant 100 000 hectares aménagés partie pour l'inondation, partie pour l'irrigation.

En 1887, pendant les basses eaux, le canal Ibrahimieh a effectivement arrosé 96 000 hectares de récoltes.

Pour satisfaire à ce triple service, il débite à sa prise 50 mètres cubes d'eau environ en étiage et au moins dix fois plus en hautes eaux.

Ce grand canal n'a pas d'ouvrage de prise; les eaux du fleuve y entrent librement et y coulent comme en pleine rivière sur les 61 premiers kilomètres de son tracé. Dans cette partie, la pente est de $0^m,045$ par kilomètre et la section type a 35 mètres de largeur au plafond avec talus à 2 pour 1; mais, creusée à l'origine avec des dimensions beaucoup plus grandes, elle est en réalité des plus irrégulières; le plafond à la prise est de 2 mètres au-dessous des plus basses eaux et à 10 mètres à peu près au-dessous des hautes eaux et du sol de la vallée.

C'est au kilomètre 61 que se trouvent les premiers ouvrages de distribution; le tronc principal s'y ramifie en quatre branches; les deux plus importantes sont le Bahr Youssef, dont le rôle a été indiqué plus haut, et le canal Ibrahimieh lui-même, qui se prolonge sur 200 kilomètres de longueur, muni sur tout son parcours d'ouvrages régulateurs, de déversoirs, etc. Sous ce dernier canal sont construits notamment plusieurs siphons qui ont deux destinations : ils servent de colateurs en déversant dans le Nil pendant l'étiage les eaux d'égouttement des terrains irrigués, et d'autre part, pendant la crue, ils sont utilisés pour donner de l'eau limoneuse à certains bassins d'inondation au moyen de canaux à digues insubmersibles qui traversent la zone irrigable.

Le principal défaut du canal Ibrahimieh est que les frais d'entretien en sont très élevés. Il est impossible, en effet, avec un débit aussi variable et sans ouvrage de tête, de régler l'allure des eaux dans le premier bief de façon à éviter des apports considérables de s'y produire; ceux-ci sont en moyenne de 500 000 mètres cubes par an et coûtent plus de 600 000 francs à draguer. Toutefois, les ingénieurs anglais qui dirigent actuellement ce canal ont prouvé combien un contrôle assidu du régime des eaux permet de diminuer ses dépenses, car, dans ces dernières années, elles ont été réduites d'au moins 200 000 francs par an et une judicieuse réglemen-

tation de la vitesse du courant dans la partie du canal située en aval des premiers ouvrages de distribution y a presque supprimé les dépôts, malgré la quantité de limon contenue dans les eaux du Nil pendant la crue.

Le second ouvrage que je veux citer, le grand barrage du Delta, commencé en 1843 sur les plans de M. Mougel bey, ingénieur des Ponts et chaussées, est resté longtemps inachevé; mais les travaux, modifiés et repris depuis trois ans sous l'habile direction du colonel Western, sont aujourd'hui presque terminés. Le barrage est destiné à commander directement l'irrigation de tout le Delta, soit d'une étendue de terres cultivées égale à 1 073 000 hectares, au moyen de trois grands canaux :

L'un, le raïah Tewfikieh, avec un débit de 100 mètres cubes par seconde en basses eaux, destiné aux provinces situées à l'est de la branche de Damiette, qui représentent 377 000 hectares de cultures;

Le second, le raïah Menoufieh, avec un débit de 185 mètres cubes en basses eaux, pour l'arrosage des provinces situées entre les deux branches du Nil, dont la superficie cultivée est de 500 000 hectares;

Le troisième, le raïah de Béhéra, avec un débit en basses eaux de 70 mètres cubes, pour la région située à l'ouest de la branche de Rosett qui comprend 196 000 hectares.

Ces canaux sont établis de façon à donner en hautes eaux un débit au moins trois fois plus fort qui, comme nous l'avons dit, est nécessaire à cette époque de l'année.

Le Barrage du Delta est certainement l'un des ouvrages d'irrigation les plus intéressants qui existent; il a un double but : empêcher pendant l'étiage les eaux du Nil d'aller se perdre inutilement dans la mer et maintenir en amont un plan d'eau invariable avec $4^m,00$ de retenue maximum, de façon à assurer pendant les basses eaux aux trois grands canaux leur débit normal et un niveau plus rapproché de celui des terres à arroser. Cet ouvrage est établi à la pointe même du Delta et comprend en réalité deux barrages, l'un sur la branche de Rosette, de 465 mètres, et l'autre sur la branche de Damiette, de 545 mètres, séparés par une langue de terre de 1000 mètres environ; des écluses de navigation sont ménagées sur chaque branche et à l'entrée de chaque canal.

Le barrage est composé d'un seuil en maçonnerie surmonté de piles, espacées de $5^m,00$ l'une de l'autre, qui portent un pont et servent d'appui à des fermetures mobiles. Fondé en partie dans le limon qui forme le lit du fleuve, en partie sur un massif d'enrochements qui, dans le milieu de la branche de Rosette, atteint jusqu'à $12^m,00$ de hauteur, des défauts de construction, des tassements, l'inachèvement de certaines parties et notamment des appareils de fermeture avaient empêché de l'utiliser complètement et de lui faire supporter une pression supérieure à $2^m,00$ d'eau. Les travaux de remise en état de cet ouvrage, aujourd'hui à peu près finis pour tout ce qui regarde le radier, ont été exécutés d'après les principes admis dans la construction des grands barrages de l'Inde et qui consistent

à allonger les radiers et à les protéger par de longs massifs de forts enrochements plutôt que de pousser les fondations en profondeur jusqu'à un sol dur et inaffouillable. D'ailleurs, il avait paru dangereux pour la conservation même de l'ouvrage de tenter d'y accoler un massif fondé profondément. La section du Barrage du Nil ainsi restauré comprendra :

L'ancien radier en béton, solide, mais assez perméable par places, de 30^{m},00 de largeur sur 3^{m},50 d'épaisseur avec parafouilles de 5^{m},00 de hauteur, qu'on vient de surélever par une couche de 1^{m},00 d'épaisseur, formée de béton de ciment recouvert par un lit de pierres de taille;

Un avant-radier de 28^{m},00 de largeur et de 1^{m},00 d'épaisseur, en maçonnerie de moellons protégée en amont par une ligne de pieux et palplanches de 6 mètres de fiche et par 4^{m},00 de largeur d'enrochements;

Un arrière-radier en maçonnerie de moellons de 11 mètres de largeur sur 1^{m},50 d'épaisseur;

Un massif de protection formé par un encaissement rempli d'enrochements qui sont recouverts de blocs en maçonnerie et maintenus en aval par une rangée de forts blocs maçonnés de 1^{m},50 d'épaisseur et de 3^{m},00 de largeur; ce massif a une largeur totale de 8^{m},00;

Enfin, des enrochements en gros blocs naturels sur 10^{m},00 de largeur.

La largeur totale du radier et de ses défenses est donc de 91 mètres.

Le travail de réparation était une opération considérable qui fait honneur aux ingénieurs qui l'ont menée à bien; il était d'autant plus délicat que, pour les besoins de l'irrigation, on a dû, pendant toute la durée des travaux, malgré les sources, les tassements et tous les accidents qui se produisaient, maintenir une retenue de 3^{m},00 d'eau. Il ne reste plus guère aujourd'hui qu'à poser les portes de fermeture en tôle qui sont formées de deux parties disposées l'une au-dessus de l'autre et manœuvrées du tablier du pont au moyen de treuils.

L'ensemble de ces travaux de réfection coûtera 12 000 000 francs.

Des trois grands canaux qui ont leur prise au barrage, deux seulement avaient été exécutés en même temps que cet ouvrage lui-même : celui du Centre et celui de l'Ouest. Le canal du Centre est toujours en service depuis sa construction; on a seulement dû élargir d'une arche l'ouvrage de prise, qui se compose maintenant de sept arches de 4^{m},16 d'ouverture. Quant au canal de l'Ouest, ou raïah de Béhéra, dont la prise a 21^{m},20 de débouché, utilisé pendant un certain temps, il a été complètement obstrué par les sables dans une partie de son parcours où il traverse une langue de désert; on travaille actuellement à l'ouvrir de nouveau et à l'établir dans des conditions plus durables. Enfin le canal de l'Est, entrepris tout récemment, est à peu près terminé; il sera mis en eau au prochain étiage du Nil; son ouvrage de tête a six arches de 5^{m},00 d'ouverture. Ces trois canaux se ramifient à une certaine distance de leur prise en plusieurs embranchements pour irriguer tout le territoire qu'ils desservent.

Ainsi, on peut dire dès aujourd'hui que cet important ensemble de tra-

vaux est achevé et sur le point de fonctionner dans toutes ses parties. Il y a quelques années, désespérant de pouvoir entretenir le raïah de Béhéra dans les sections sablonneuses de son tracé, le gouvernement avait cherché un autre procédé pour arroser pendant l'étiage la province située à l'ouest de la branche de Rosette. Il y parvint en installant à la tête de deux grands canaux, sur le bord du Nil, deux énormes usines à vapeur :

L'une, pour le canal du Katatbeh, à 45 kilomètres en aval du Barrage, est composée de cinq grandes pompes centrifuges de $4^m,00$ de diamètre, construites par la maison Farcot et établies de façon à débiter 29 mètres cubes par seconde à une hauteur maximum de $3^m,00$ au-dessus de l'étiage;

L'autre, à Atfeh, pour le canal Mahmoudieh, à 140 kilomètres en aval de la première, a aussi un débit maximum de 29 mètres cubes par seconde avec une élévation de $2^m,60$; elle comprend huit roues Sagebien de $10^m,00$ de diamètre montées par la maison Feray d'Essonne.

Ces machines produisent en réalité pour ces deux canaux le même effet qu'un barrage qui serait établi dans le Nil en aval de leur prise et qui relèverait à un niveau constant les eaux d'étiage. Elles sont concédées pour trente-cinq ans à la Société qui les a construites et à laquelle le gouvernement paye le montant de l'eau élevée suivant un tarif convenu. En 1887 ces deux usines ont travaillé 245 jours et ont fourni en tout 874 millions de mètres cubes pour lesquels le gouvernement a payé 1 400 000 francs, soit 1600 francs par million de mètres cubes. C'est évidemment coûteux, car cela correspond à 50 633 francs pour un débit continu annuel de 1 mètre cube par seconde, cette somme représentant uniquement les frais d'élévation à une hauteur de $2^m,50$ à $3^m,00$ et point du tout ce qui regarde le transport et la distribution des eaux. Le grand Barrage remplacera bientôt avantageusement et économiquement ce système de machines.

Tels sont les points les plus saillants de l'aménagement des eaux du Nil, aménagement remarquable sous le rapport tant des grandes dérivations qu'il comporte et des ouvrages importants qu'il a conduit à établir que de la bonne utilisation, à peu près aussi complète que possible, du débit d'étiage. Déjà même, de divers côtés, on se préoccupe pour étendre la culture par irrigation, plus riche que la culture par inondation, et pour fertiliser des terres à conquérir sur le désert, d'augmenter le volume des basses eaux du Nil en emmagasinant dans de grands réservoirs le superflu de l'eau des crues. Deux grands projets ont déjà été sommairement étudiés pour cela :

Le premier consiste à fermer le Nil au défilé de Gebel Cilcileh, à 45 kilomètres au nord d'Assouan, par un mur en maçonnerie de 400 mètres de long sur 20 mètres de haut avec barrage mobile latéral de 300 mètres, déversoir de 700 mètres de longueur et autres ouvrages accessoires, de façon à convertir en réservoir une vaste plaine, aujourd'hui inculte, de 1400 millions de mètres carrés, où l'on pourrait emmagasiner 7 milliards de mètres cubes; ce projet grandiose a été examiné sur place par M. Jac-

quet, inspecteur général des Ponts et chaussées, et la dépense en a été évaluée à 100 000 000 de francs;

Le second projet, moins colossal, présenté par un Américain, M. Cope Whitehouse, et étudié par les ingénieurs du gouvernement égyptien, consisterait à utiliser une grande dépression située dans le désert, au bord de la vallée du Nil et dans le voisinage de l'ancien lac Mœris, dont la superficie est de 660 millions de mètres carrés et dont le fond est à 40 mètres au-dessous du niveau de la mer; on pourrait y mettre en réserve 2 milliards de mètres cubes d'eau utilisable; la dépense est estimée à 35 000 000 de francs.

Mais, avant de passer à l'exécution de ces travaux, qui n'ont pas encore un caractère d'urgence, l'Égypte se préoccupe d'abord d'achever les ouvrages dont j'ai parlé plus haut et de creuser les colateurs nécessaires pour évacuer le surplus des eaux d'irrigation dont le séjour sur les terres fait remonter à la surface les sels contenus dans le sous-sol et ruine vite les cultures.

J'espère que cet aperçu de l'irrigation égyptienne, quoique bien rapide et bien incomplet, suffira pour montrer jusqu'à quel point on utilise et on peut utiliser les eaux d'un grand fleuve dans un pays qui ne vit que par l'agriculture et où l'agriculture n'est possible que par les arrosages ou les submersions.

Pour résumer les considérations contenues dans ce rapport et en tirer quelque conclusion pratique, je formulerai les propositions suivantes :

1° Dans nos pays où la concurrence agricole et industrielle est si active, la nécessité d'utiliser aussi complètement que possible les cours d'eau pour l'agriculture et pour l'industrie s'impose tant par les avantages considérables qu'en retire l'agriculture que par le bas prix auquel revient la force motrice hydraulique.

2° Les travaux d'aménagement agricole des cours d'eau doivent être étudiés au point de vue financier comme des affaires industrielles et, sauf des considérations d'intérêt général dont l'État est juge, ils ne doivent être poursuivis si les recettes probables ne sont pas susceptibles de donner un bénéfice normal au capital engagé.

3° Les entreprises d'aménagement des eaux sont condamnées, par leur nature même, à être en déficit à leurs débuts pendant un temps plus ou moins long; aussi, dans le but de les faciliter et vu l'intérêt général que présentent ces opérations, l'administration doit intervenir financièrement, soit en garantissant les emprunts des syndicats qui font les travaux, soit en prêtant les fonds nécessaires, soit en garantissant un minimum d'intérêt aux capitaux engagés, sauf à se rembourser des avances faites lorsque l'affaire est devenue prospère, soit par d'autres combinaisons analogues.

4° Lorsque des travaux d'aménagement portent sur de grandes et longues dérivations réclamant l'emploi de forts capitaux ou qu'ils entraînent

soit des modifications notables dans le régime des cours d'eau importants, soit la construction d'ouvrages coûteux en travers de ces cours d'eau, le gouvernement lui-même, administrateur de ces eaux qui sont une des parties les plus intéressantes du domaine public, doit intervenir d'une façon plus complète et plus directe, sous peine de voir un capital naturel, dont la mise en valeur serait profitable pour la population et pour l'État lui-même, se perdre inutilement pendant un temps indéfini.

5° On ne peut donner de règles générales pour l'aménagement des cours d'eau; chaque cas particulier a besoin d'être examiné d'une façon spéciale et, dans cette étude, on doit s'inspirer de cette idée qu'il faut retirer d'un cours d'eau son maximum d'utilité en le considérant, non seulement dans les phases successives de son régime, mais encore dans l'ensemble de son débit annuel.

6° Les barrages établis sur les rivières canalisées sont en général d'excellents ouvrages de prise d'eau pour des canaux d'irrigation.

7° Il y a lieu de rechercher les raisons pour lesquelles les chutes d'eau créées à l'usage de la navigation sur les rivières et les canaux ou à la sortie des réservoirs d'alimentation de certains canaux ne sont pas employées davantage par l'industrie; l'administration doit se prêter au développement de cette utilisation en facilitant la location de ces chutes d'eau.

Le Caire, 24 mai 1889

DE

L'AMÉLIORATION DES RIVIÈRES NAVIGABLES

A FOND MOBILE

PAR

M. JACQUET
Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

DE

L'AMÉLIORATION DES RIVIÈRES NAVIGABLES

A FOND MOBILE

RAPPORT

DE

M. JACQUET

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Les rivières canalisées présentent en France les types les plus parfaits, et c'est avec raison que les barrages éclusés de la Seine excitent l'admiration des ingénieurs du monde entier. Mais la navigabilité d'un grand nombre de fleuves et rivières à courant libre ne mérite pas moins d'appeler notre attention. Des ouvrages modestes, sans apparence extérieure, le plus souvent cachés sous les eaux, naturellement effacés par la nature même du rôle qu'ils doivent jouer, ne pouvant en définitive se faire remarquer que par la régularité et la coordination de l'ensemble, ont produit des résultats considérables et ont assuré à la navigation sur les rivières d'Allemagne une incontestable prospérité.

Nous avons aussi en France des rivières navigables à courant libre. Je me propose dans ce rapport d'exposer les procédés à l'aide desquels on peut améliorer les conditions dans lesquelles elles se présentent à la navigation, en faisant connaître les méthodes que j'ai appliquées à l'amélioration du Rhône.

Le problème à résoudre semblait particulièrement difficile, à cause de la pente excessive du Rhône, de la vitesse du courant et de la mobilité extrême du fond. Mais, d'autre part, un grand débit, alimenté l'été par les glaciers des Alpes, permettait d'espérer que le fleuve pourrait être aménagé de manière à présenter en tout temps un tirant d'eau suffisant pour la navigation. L'on avait d'ailleurs l'exemple d'étendues assez considérables où le régime d'étiage était excellent, bien que la pente y fût supérieure à la pente moyenne.

Les travaux d'amélioration du Rhône ont eu pour objet principal et presque unique la constitution d'un chenal navigable en basses eaux. L'exécution des projets conçus dans ce but a présenté deux phases bien

caractérisées. Dans la première, on cherchait la concentration des eaux dans un lit mineur convenablement resserré par la fermeture des faux bras, par la fixation des rives et par la création d'un système d'endiguements longitudinaux. Dans la seconde période, qui comprend les dix dernières années, on a complété l'action des digues longitudinales par des épis et par des ouvrages noyés établis dans le chenal navigable lui-même.

Je ne m'arrêterai pas à faire une description détaillée du système des digues longitudinales. Les règles à suivre dans le tracé de ces ouvrages sont bien connues, et elles ont été mises en lumière par des mémoires justement remarqués aux *Annales des Ponts et Chaussées*. Je me bornerai à résumer sommairement les conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les travaux de ce genre.

Les endiguements doivent concentrer des eaux assez élevées pour avoir une action efficace. *La hauteur* adoptée pour le couronnement des digues du Rhône au-dessus de l'étiage était de 2 mètres entre Lyon et l'Isère, de 2 m. 50 entre l'Isère et l'Ardèche, et de 3 mètres à partir de l'Ardèche jusqu'au Rhône maritime. L'écartement de digues aussi hautes est nécessairement trop grand pour les basses eaux qui ne couvrent pas à beaucoup près tout l'espace compris entre elles. A l'étiage, une plage, dont la saillie est plus ou moins grande suivant le degré de courbure du tracé, règne en avant de la rive convexe, et le lit mineur proprement dit s'appuie à la rive concave. Dans le passage d'une rive à l'autre, le fond s'élève et présente un maigre. La condition rigoureuse d'un bon tracé est que, dans l'inflexion, les eaux restent massées de manière à former un courant unique et ne s'étalent pas sur une trop grande largeur pour conserver la profondeur voulue. Il faut qu'il y ait concordance entre les courbes consécutives de sens contraire pour lancer franchement le courant de l'une à l'autre, et que les espacements des sommets de courbure soient convenablement réglés. On doit, autant que possible, éviter les longs tracés rectilignes où le thalweg est indécis et sujet à se diviser. Mais il importe aussi de ménager entre les courbes successives et opposées une distance telle que l'inflexion ne soit pas trop brusque ou ne se fasse pas irrégulièrement.

Les tracés n'ont nullement besoin d'une régularité mathématique. Pour fixer le courant contre une rive concave et le diriger graduellement sur la rive concave située en aval et du côté opposé, il y a toujours plusieurs solutions possibles. Le coup d'œil de l'ingénieur habitué aux travaux de rivière suffit à faire un bon tracé sans l'aide d'aucun calcul.

C'est à partir de 1860 que l'on a appliqué méthodiquement à l'amélioration du Rhône le système des digues longitudinales pour la constitution d'un lit mineur. Les travaux ont donné de suite des résultats importants. Les mauvais passages auxquels le système a été appliqué ont été améliorés, et les succès obtenus sur un grand nombre de points sont venus tout d'abord confirmer la confiance des ingénieurs dans les méthodes suivies.

Pourtant, au bout de peu d'années, on dut reconnaître que, malgré des

améliorations locales incontestables, la navigabilité du fleuve ne progressait pas et que les améliorations réalisées sur certains points se trouvaient annihilées par l'aggravation d'autres passages. De nombreux exemples mettaient en évidence que l'amélioration d'un haut fond, correspondant toujours à la suppression ou à l'atténuation d'un rapide, produisait nécessairement un abaissement du plan d'étiage en amont. On éprouvait donc une grave déception, et l'on dut chercher comment on pourrait tenir compte des modifications que les travaux eux-mêmes apportent dans le régime des basses eaux, pour éviter des abaissements trop considérables qui compromettraient la situation des passages supérieurs et risqueraient de déplacer seulement, mais non de faire disparaître les difficultés.

Quelques explications sur le régime du fleuve, et en général de toutes les rivières à fond mobile, sont nécessaires pour faire comprendre comment l'expérience a amené le perfectionnement progressif des méthodes employées pour l'amélioration du Rhône.

Dans une rivière à fond mobile, il ne peut y avoir d'équilibre permanent entre les forces d'entraînement du courant et la résistance du lit. Aussi la forme de ce lit est-elle constamment variable et très différente aux divers états des eaux. La vitesse du courant est minimum à l'étiage (sauf sur les chutes exceptionnelles que présentent certains rapides). L'on n'observe alors aucun entraînement notable. Les mouvements qui ont lieu sont ceux de petits graviers roulant sur le fond qui reste stable, et sur un grand nombre de points ces mouvements sont absolument nuls.

Dans les crues un peu élevées, la vitesse des eaux et la force d'entraînement sont telles que les graviers mis en mouvement sur une certaine épaisseur sont transportés en aval, remplacés au fur et à mesure par d'autres graviers venant d'amont. Dans un canot allant sans bruit, on entend parfaitement ces mouvements. C'est un bruissement ou crépitement continuel résultant d'une infinité de petits chocs produits chacun par la chute d'un galet ayant roulé sur un autre et tombant sur celui d'aval. On distingue très bien le choc des gros galets dans le bruissement des petits.

L'action que les eaux exercent sur le lit dépend de leurs débits, et pour chaque débit, de sa durée. L'état qui a le plus de permanence correspond à des débits moyens assez forts pour agir sensiblement sur le fond et assez durables pour que cette action soit très efficace. Les grandes eaux et celles d'étiage ne sont donc pas celles qui donnent aux hauts fonds, ou plus généralement au lit du fleuve, les formes et le relief que l'on observe aux basses eaux. L'effet produit par les grandes crues est modifié par des eaux moins élevées qui leur succèdent et qui déterminent la forme définitive qui persiste après chaque crue. Ces eaux intermédiaires, supérieures à l'étiage, sont réellement régulatrices du lit d'étiage, et c'est sur elles qu'il convient de se baser pour étudier la limite d'action du lit mineur à créer. Leur hauteur est naturellement variable aux différents points suivant la grosseur des galets et la constitution du fond.

La considération des eaux régulatrices, dont le niveau est en général assez élevé au-dessus de l'étiage, conduit à des conséquences importantes au sujet de l'action des endiguements qui doivent limiter le lit mineur.

Lorsque les eaux seront contenues entre des digues élevées à la hauteur ou au-dessus des eaux régulatrices, la masse des eaux, coulant dans une section moindre que la section primitive d'écoulement, prendra une vitesse plus grande, et l'équilibre sera rompu entre leur puissance d'affouillement et la résistance du fond. Le lit sera donc creusé et l'on conçoit que, si la pente devait rester la même dans un canal indéfini et à fond homogène, le creusement serait indéfini. Mais, comme les parties non modifiées en aval restent fixes ou même peuvent être relevées, au moins momentanément, par le dépôt des graviers, la pente diminuera et il s'établira un nouvel état d'équilibre lorsque, par l'affaiblissement de la pente, les vitesses seront redevenues inoffensives pour le fond. Ces vitesses seront nécessairement moindres que celles correspondant au premier état d'équilibre, puisque, la profondeur étant plus grande, des vitesses égales auraient une action plus énergique.

A ce moment, le lit mineur aura été amené à un état qui restera stable, lorsque les eaux s'abaisseront au-dessous du niveau des eaux régulatrices. Il présentera à l'étiage des profondeurs, et par conséquent une section d'autant plus grande que l'action aura été plus puissante, c'est-à-dire que les digues auront été plus élevées.

Les vitesses d'écoulement et la pente des basses eaux subiront donc une diminution qui sera dans un certain rapport, inconnu il est vrai, avec la hauteur des endiguements.

C'est ce qui s'est vérifié dans tous les passages améliorés par des endiguements. Cela est mis en évidence d'une manière frappante dans les défilés que le Rhône présente, sur certains points, comme à Pierre-Châtel ou aux gorges de Saint-Alban, où son lit est resserré entre des roches élevées. L'on y trouve des profondeurs de plus de 20 mètres, et, à l'étiage, le lit du fleuve présente l'apparence d'un véritable lac.

Lorsque les digues seront inférieures au niveau des eaux régulatrices, la concentration partielle du débit augmentera encore l'action sur le fond, mais dans une moindre proportion. Le creusement se produira et il est manifeste que le nouvel état d'équilibre entre la résistance du fond et la puissance d'affouillement s'établira plus rapidement que dans le cas de digues élevées. La perte de pente sera par conséquent beaucoup moindre.

L'abaissement des digues permet de réduire leur écartement et de donner au lit mineur une largeur moindre, plus en rapport avec la section d'écoulement suffisante pour les basses eaux. Il pourra même arriver que le simple fait de la concentration des eaux d'étiage dans un lit suffisamment resserré donne l'amélioration désirée sans creusement du fond et sans perte de pente.

Les explications que je viens de résumer d'une manière sommaire font comprendre les mécomptes que l'on a éprouvés après les premiers travaux d'amélioration du Rhône et permettent d'apprécier les dangers sérieux que devait présenter l'abaissement du plan d'eau, conséquence nécessaire d'améliorations partielles. Je compléterai rapidement l'exposé des difficultés que l'étude du régime des rivières à fond mobile met ainsi en évidence, difficultés incontestablement plus grandes sur le Rhône que sur les rivières à cours modéré.

La pente du Rhône est loin d'être régulière, même sur un très petit parcours. La pente kilométrique, que l'on cite souvent pour énoncer l'un des éléments les plus importants du régime des diverses sections du fleuve, est une ligne fictive autour de laquelle oscillent les pentes réelles à diverses hauteurs avec des inégalités et des variations parfois très considérables. Ainsi, dans quelques mouilles profondes, la pente devient excessivement faible; quelquefois même sur de petites longueurs, à la suite des rapides, on trouve une contrepente à la surface des eaux, tandis que sur les rapides la pente est considérable. La ligne des basses eaux présente une alternance de pentes douces et de pentes raides qui correspondent à des biefs ou mouilles et à des maigres.

Les plans et profils, relevés avec une très grande exactitude, ont bien fait reconnaître que le fleuve se composait d'une série de mouilles ou fosses plus ou moins profondes séparées par des hauts fonds sur lesquels le tirant d'eau est faible. Ils ont mis en évidence ce que l'on remarque sur tous les cours d'eau à fond mobile, une périodicité réelle dans les variations de la profondeur, et ont montré que les mouilles se formaient généralement contre les rives concaves et que les hauts fonds se trouvaient aux inflexions, aux points où le courant passe d'une rive à l'autre.

Quand les eaux sont fortes, les inégalités de profondeur sont moins accentuées et les variations des pentes sont relativement peu apparentes. Mais, aux très basses eaux, certaines mouilles profondes apparaissent comme des lacs, tandis que quelques seuils présentent de véritables chutes par lesquelles une fosse se déverse dans la fosse suivante.

Ces observations sur la figure du lit des basses eaux et sur la corrélation entre la pente d'étiage et la profondeur ont été faites par tous les ingénieurs chargés de services de navigation et ont été souvent répétées dans les mémoires insérés aux Annales des Ponts et Chaussées. On peut dire que le fait ainsi observé constitue une proposition élémentaire de l'hydraulique fluviale.

La principale difficulté de l'amélioration du Rhône était précisément cette irrégularité de la pente. Sur des longueurs considérables la pente d'étiage était extrêmement faible, et par suite l'on trouvait au contraire des rapides où la pente était très forte et parfois absolument incompatible avec la formation d'un chenal régulier d'une profondeur suffisante. Sur ces rapides exagérés, véritables déversoirs de la mouille supérieure,

l'amélioration ne pouvait avoir lieu que par la diminution de la pente et elle entraînait avec elle l'aggravation des passages supérieurs. D'une manière générale il en était ainsi sur tous les points où l'on obtenait l'approfondissement du lit, et presque partout l'amélioration du chenal navigable était accompagnée d'un abaissement local plus ou moins marqué du plan des basses eaux.

Il fallait donc absolument chercher à substituer au lit irrégulier du Rhône un lit où la pente ne devait présenter que des variations peu notables. A cet effet, dans les divers projets présentés, je me proposais de réaliser les conditions suivantes :

Conserver les pentes naturelles sur tous les points où elles diffèrent peu de la pente moyenne ;

Dans la rectification des rapides, diminuer le moins possible les pentes et limiter ainsi au minimum l'abaissement du plan d'eau supérieur ;

Enfin chercher partout où cela serait possible à compenser, par le relèvement de la pente, les abaissements du plan d'eau inévitables sur certains points.

Les deux premières conditions ont pu être réalisées dans une très grande mesure par l'abaissement des digues longitudinales. Nous avons même pu obtenir le relèvement de la pente dans certaines mouilles profondes, en masquant par des digues basses les rives concaves présentant à la fois une grande hauteur et une courbure très prononcée. Mais nous ne pouvions nous dissimuler l'insuffisance problable des expédients employés et l'incertitude du succès final.

En 1879 et 1880, dans des missions en Autriche-Hongrie et en Allemagne, j'appris à connaître et je pus observer dans les plus grands détails les travaux exécutés sur les rivières d'Allemagne. Je n'ai pas hésité à appliquer les mêmes méthodes au Rhône, en les adaptant aux conditions spéciales que présentait ce fleuve.

Les ingénieurs allemands ne se bornent pas, comme nous l'avions fait jusqu'en 1879, à régulariser les rives de leurs fleuves. Ils attachent une importance non moins grande à la régularisation du fond. L'expérience des désordres qui se manifestent dans le thalweg lui-même et les affouillements que produisent toujours les resserrements devaient amener naturellement à cette conclusion, qu'il ne suffit pas de constituer les rives d'un lit mineur, mais qu'il faut aussi assurer la stabilité du fond de ce lit. Les ingénieurs allemands ont donc mis en pratique régulière et suivie la pensée de traiter le fond comme ils traitent les rives, et l'on peut dire par les mêmes procédés ou du moins par des travaux dont l'analogie est incontestable. Ils fixent par une série d'épis les rives dans lesquelles doit être contenu le lit mineur, et ils jalonnent aussi par une série de barrages transversaux ou épis noyés sous les eaux les limites au delà desquelles ne doit pas descendre le fond ; et de même que les nouvelles rives du lit mineur

se forment et se régularisent par les atterrissements que le fleuve apporte entre les épis, de même le fond s'exhausse et se nivelle par les dépôts que le courant abandonne entre les seuils successifs. Le succès dû aux mêmes causes est le même dans les deux cas, et il a suffi d'une expérience, bien rapidement acquise, pour déterminer quel doit être l'écartement des ouvrages pour assurer les atterrissements qui doivent former la rive ou le fond du lit régularisé.

L'exemple le plus ancien de travaux de cette nature se rapporte à la Ruhr, à laquelle les charbonnages de Westphalie avaient donné une importance extraordinaire dans le réseau des voies de transport avant l'établissement des chemins de fer. La Ruhr a été rendue navigable sur une longueur de 75 kilomètres, par une canalisation comportant onze barrages éclusés dont les biefs présentaient une certaine pente. En 1845, il arriva que le bief de Blankenstein, d'une longueur de 6 kilomètres, s'étant creusé, la pente en basses eaux disparut au point que le seuil de l'écluse supérieure fut découvert et que la navigation fut interrompue. M. l'ingénieur Nobiling rétablit la pente en construisant, dans l'étendue de ce bief, une série de soixante barrages transversaux espacés de 100 mètres, arasés sous l'eau à une profondeur de quelques centimètres seulement au-dessous du profil normal que devait présenter le fond pour une bonne navigabilité. Il posait ainsi comme des gabarits de la forme du fond. Le succès fut immédiat et complet. La pente totale fut rétablie par l'ensemble des relèvements produits à chaque barrage et l'on retrouva de suite sur le seuil de l'écluse supérieure du bief le tirant d'eau normal de $0^{m},70$ à l'étiage.

Le résultat obtenu en 1845 par M. l'ingénieur Nobiling, sur la Ruhr, au moyen de barrages transversaux noyés, est précisément le but que je m'étais proposé sur le Rhône, et cela seul suffisait à justifier la persévérance que j'ai mise à soutenir le principe de l'emploi des épis noyés, avant même d'avoir reconnu tous les autres avantages que présente ce système de travaux.

J'ai donc poursuivi avec une profonde conviction l'application à l'amélioration du Rhône des méthodes que j'avais étudiées et observées en Allemagne dans mes missions de 1879 et 1880. Mais j'ai reconnu aussi qu'on ne pouvait employer sur un fleuve à cours rapide exactement les mêmes procédés qui convenaient à des rivières à cours modéré comme l'Elbe ou la Vistule, et notamment je n'ai jamais eu la pensée d'abandonner les digues longitudinales absolument nécessaires pour soutenir et guider le courant le long des rives concaves. C'est ce que j'ai pu faire reconnaître, dans une excursion sur le Rhône en 1880, à M. Hagen, conseiller supérieur des travaux publics en Allemagne, en lui montrant, dans les courbes prononcées et dans les grandes pentes, la violence avec laquelle les eaux se portent sur la rive concave. Avec le système suivi sur l'Elbe, chaque tête d'épi serait pour la batellerie descendant le cours du fleuve un écueil redoutable. et M. Hagen a pu constater que même le long de nos endiguements con-

tinus, les équipages devaient faire les plus grands efforts pour n'être pas jetés à la rive.

J'ai donc conservé le principe des anciens travaux, modifiés, comme je l'ai dit plus haut, par le resserrement du lit mineur et l'abaissement du couronnement des digues longitudinales, et ce que j'ai proposé et exécuté d'après les études faites en Allemagne n'était qu'une addition à l'œuvre des digues, destinée à en compléter l'effet, à suppléer dans certains cas à la construction de digues nouvelles qui auraient doublé les anciennes, et en définitive à faire pour le fond ce que les digues font pour les rives. Aujourd'hui que ces travaux sont entrés dans la pratique commune des ouvrages d'amélioration du Rhône, on est justement étonné d'avoir tardé si longtemps à reconnaître la nécessité de consolider le fond même du lit comme nous consolidons les berges et de soutenir ou même de relever ce fond, de même que nous défendons les bords et que nous construisons des ouvrages de rétrécissement. Ce travail de régularisation du fond devait être naturellement l'objet des recherches des ingénieurs, puisque tout le monde était d'accord pour reconnaître que le principal obstacle à l'amélioration définitive de la navigation à courant libre était précisément l'instabilité du fond. L'irrégularité du fond entraîne nécessairement l'irrégularité de la surface, et le simple énoncé même du problème indiquait le point difficile dans l'amélioration d'une rivière à *fond mobile*.

Par les épis noyés, je me suis proposé d'assurer une meilleure répartition des pentes et des vitesses en régularisant le fond et comblant les mouilles trop profondes. Je voulais aussi, par la correction des inégalités transversales du lit, rectifier les irrégularités du chenal, redresser les inflexions, écarter le courant des rives où il est appelé d'une manière dangereuse soit par l'action des courbes concaves, soit par le creusement excessif que provoquent les berges élevées.

Le succès a répondu à mon attente.

Les épis noyés ont eu bientôt l'approbation des mariniers et de tous les hommes qui se servent de la voie fluviale du Rhône. De vives inquiétudes se sont manifestées, il faut le reconnaître, lorsque l'on a vu pour la première fois échouer des enrochements en plein chenal. Il a fallu une certaine énergie de conviction pour persister, d'autant plus qu'il s'agissait de travaux qui n'avaient même pas encore une approbation officielle. Mais les résultats immédiats qui ont été obtenus ont de suite convaincu les gens de rivière et ont valu à ce genre d'ouvrages la faveur dont ils jouissent actuellement.

L'influence directrice des épis noyés est un des résultats les plus remarquables qui ont été obtenus. Dans toutes les courbes concaves où ces épis ont été construits le succès a été immédiat et complet. Avant ces travaux, les bateaux ordinaires et les radeaux étaient, malgré les efforts des équipages, serrés contre la rive. Ils en sont aujourd'hui naturellement écartés et, suivant l'expression des mariniers, ils refusent d'y aller. L'on voit les

bateaux descendre librement au fil de l'eau, toutes leurs amures dressées et au repos, sur des points où il fallait autrefois manœuvrer énergiquement pour se maintenir dans une bonne direction. Cette influence directrice des épis noyés était facile à prévoir; mais on peut affirmer que le succès a dépassé les espérances les plus optimistes.

L'action des épis noyés pour le relèvement de la pente ne s'est pas manifestée aussi promptement que leur influence directrice. Il faut dire que les épis formant des seuils de fond ont été construits d'abord avec une prudence que justifiait naturellement ce genre de travail. On ne pouvait, sans risquer de causer de graves perturbations, élever tout d'un coup des barrages transversaux avec une grande saillie sur le fond. On a procédé lentement, progressivement, en observant avec soin les effets produits.

Toutefois les effets de relèvement ont été accusés immédiatement à l'aval de quelques rapides où les eaux se précipitaient avec une grande pente et une grande vitesse, au point d'arrêter même la remonte des puissants bateaux à vapeur du Rhône. Il a suffi de construire quelques seuils dans la mouille située immédiatement en aval du rapide pour atténuer la vitesse du courant et faire disparaître les difficultés et les dangers que rencontrait la navigation.

Aujourd'hui la question du relèvement de la pente par les épis noyés n'est plus en discussion. J'ai réfuté par l'expérience l'objection qui avait été posée comme un principe absolu, comme une sorte d'axiome, que l'on ne pouvait obtenir des approfondissements sur les seuils formant hauts fonds, sans abaisser le plan d'eau en amont et sans aggraver la situation des rapides supérieurs.

Le succès définitif des travaux du Rhône me dispense de discuter les objections qui avaient été faites dès le début contre le système nouveau que je voulais appliquer à l'amélioration du Rhône.

De toutes ces objections, je ne retiendrai que celle qui est relative à l'action probable des grandes crues sur des ouvrages dont le profil général paraît faible, si on le compare au massif des ouvrages que l'on construisait autrefois.

Dans ma conviction, les nouveaux ouvrages devaient être bien moins exposés que les ouvrages anciens, précisément parce qu'ayant moins de relief, ils étaient soumis à une action moins énergique de la part des grandes eaux. L'expérience a aussi sur ce point confirmé mes prévisions. Depuis que les digues longitudinales du Rhône ont été abaissées et que l'on a construit tout un système de digues transversales de rattachement aux rives, d'épis noyés et de seuils de fond, le Rhône a eu plusieurs grandes crues, notamment celles de 1882 et 1886, et récemment celle de novembre 1888. Nulle part on n'a constaté d'avaries sérieuses aux nouveaux ouvrages de navigation. Il a fallu faire sans doute des rechargements et des consolidations; mais on n'a pas eu à réparer des désastres comme

chaque crue en produisait sur les ouvrages que l'on construisait dans l'ancien système.

Conclusion. — Ma conclusion sera très sommaire.

Il résulte des considérations qui précèdent et de l'expérience de toutes les rivières navigables que j'ai pu visiter en Europe, que l'amélioration d'une rivière à fond mobile ne peut s'obtenir que par un ensemble de travaux ayant pour objet non seulement la constitution des rives d'un lit mineur, mais aussi la régularisation et la fixation du fond de ce lit.

Dans une rivière à cours modéré, je crois que la création des rives du lit mineur peut être obtenue indifféremment par des épis, comme on le voit en Allemagne sur l'Elbe, l'Oder, la Vistule, ou par les digues longitudinales, ainsi que l'on fait sur l'Elbe saxonne et sur une grande partie du cours du Rhin.

Dans une rivière à cours rapide, comme le Rhône, il est nécessaire que les rives concaves du lit mineur soient formées par des digues basses longitudinales qui accompagnent le courant d'une manière continue. Ces digues longitudinales doivent être reliées aux rives naturelles du fleuve par des digues transversales ou rattachements suffisamment rapprochés pour que les hautes eaux ne puissent trouver en dehors du lit mineur des espaces libres où s'établiraient de forts courants et où le thalweg tendrait à reprendre sa direction primitive.

Sur les rives convexes et en général partout où des digues longitudinales ne paraissent pas nécessaires, les divagations du lit mineur seront prévenues par des épis plongeants qui, partant soit de la rive naturelle du fleuve, soit des berges ou des plages qui émergent, iront en s'abaissant et pénétreront même dans le lit mineur en s'enfonçant plus ou moins bas sous l'étiage.

Les travaux qui ont pour objet la création même du lit mineur et la conservation de son tracé seront complétés par les ouvrages établis sous l'eau dans le lit mineur lui-même. Les épis plongeants dont je viens de parler peuvent se rattacher à ce groupe d'ouvrages.

Je rappellerai que la pensée première qui a inspiré l'exécution de digues noyées dans le lit mineur lui-même a été de rétablir les pentes affaissées par le creusement excessif du fond ou par les profondeurs naturelles des grandes mouilles. Les digues basses construites dans ce but traversent généralement toute la largeur du thalweg. Dans les cours professés à l'École nationale des Ponts et Chaussées, elles ont été désignées sous le nom caractéristique de *seuils de fond*.

Puis l'on a reconnu immédiatement l'action décisive que les ouvrages de cette nature peuvent exercer pour la régularisation du lit mineur et pour la rectification et la fixation du chenal navigable. L'on a été conduit à établir sous l'eau des endiguements analogues aux épis construits au-dessus de l'eau et qui ont été dès le début appelés épis noyés. L'axe longi-

tudinal de ces ouvrages est orienté de l'aval vers l'amont et leur pente dirigée vers le chenal de telle sorte que le déversement qui s'opère sur ces barrages noyés ramène les eaux vers le thalweg et tend à éloigner le courant de la rive. Par la coordination et l'action combinée d'un ensemble de ces épis noyés, on devient maître de la forme du fond.

C'est ce qu'ont très bien compris les ingénieurs du Rhône. Par les épis noyés ils ont pu corriger les inégalités transversales de la section du lit et rectifier le chenal étroit et profond qui régnait ordinairement le long des digues concaves. Ils ont ainsi complété l'amélioration de passages sur lesquels, avant l'emploi des épis noyés, on avait vainement épuisé tous les moyens connus.

Ils ont pu, sur les points où se produisaient des profondeurs anormales, relever le fond au niveau jugé convenable et le fixer par des épis noyés qui étaient comme des gabarits de la forme définitive. Ils ont de même dans les passages difficiles où la direction du thalweg était indécise, dessiné d'avance la ligne de la plus grande profondeur et tracé des inflexions régulières par une sorte de mise au point du fond du lit, et ils ont ainsi créé un chenal navigable fixe conservant la même position à tout état des eaux.

C'est ce que les Allemands ont fait avec un plein succès, et je puis dire que nous n'avons pas moins bien réussi sur le Rhône.

Paris, 15 mai 1889.

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

PAR

M. Leveson Francis VERNON-HARCOURT, M. A.
Membre de l'Institut des Ingénieurs Civils de Londres.

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

RAPPORT

DE

M. Leveson Francis VERNON-HARCOURT, M. A.

Membre de l'Institut des Ingénieurs Civils de Londres.

Les avantages de la conversion des fleuves en voies de navigation en eau tranquille, par la construction de barrages et d'écluses aux endroits convenables, pour faciliter la navigation intérieure, sont aujourd'hui bien reconnus. Les seuls points sur lesquels il peut s'élever des divergences d'opinion sont ceux qui concernent les meilleures méthodes de canalisation, l'étendue à donner à cette canalisation, la profondeur minima à obtenir, les frais de construction qu'on peut prévoir, et si cette dépense doit incomber à l'État ou si elle doit être faite par des compagnies particulières. Quelques-unes de ces questions n'admettent pas de solution générale, car la possibilité de l'exécution d'un projet de canalisation quelconque dépend des conditions physiques naturelles du fleuve, et les dépenses, subordonnées aux mêmes conditions, doivent aussi être calculées sur l'accroissement commercial probable qui pourra résulter de l'amélioration de la voie fluviale. L'amélioration des fleuves conduisant à de grands centres tels que Paris, Lyon, Bruxelles, Liège, Berlin, Mannheim, Francfort, pourrait légitimer des dépenses considérables, tandis que des travaux semblables sur des voies conduisant à des centres moins importants ne pourraient être entrepris que sous des conditions spécialement favorables. Les fleuves à cours tranquille se prêtent mieux à la canalisation que les fleuves rapides, torrentiels; leur pente étant plus douce, il est facile de les convertir en voies navigables d'eau tranquille avec moins de barrages et d'écluses; et leurs niveaux variant moins, leurs crues sont moins hautes et ils sont moins sujets à manquer d'eau pendant les temps de sécheresse. Pour les mêmes raisons, les cours inférieurs des fleuves sont mieux adaptés à la canalisation que les cours supérieurs vers les sources.

Profondeur. — La profondeur minima du lit navigable d'un fleuve et les dimensions des écluses déterminent le tirant d'eau et la grandeur des bateaux qui peuvent y naviguer; et lorsqu'on augmente la profondeur, en maintenant un niveau plus élevé au moyen de barrages ou par le dragage, on augmente considérablement les frais de canalisation, mais cela permet en même temps d'accroître dans la même proportion le tonnage des navires. Chaque fleuve est en un certain sens une voie fluviale distincte, mais comme la plupart des grands fleuves de l'Europe sont reliés par des canaux latéraux dépassant les limites de leurs bassins, l'uniformité de profondeur doit être recherchée, surtout dans les parties supérieures des fleuves pour permettre l'intercommunication entre les différentes voies et les canaux adjacents. Toutefois, il est plus facile d'assurer une bonne profondeur dans le cours inférieur des fleuves où le lit est large et la pente douce, que dans les parties plus élevées au-dessus des confluents des tributaires, et où la pente devient plus raide. En général on obtient donc plus de profondeur dans les parties basses des fleuves. La profondeur navigable et utilisable de la Seine jusqu'à Paris avait été fixée à $1^m,60$ par des travaux terminés en 1866, et on s'occupe maintenant de porter cette profondeur à $3^m,20$. Entre Paris et Montereau, sur la haute Seine, la profondeur a été portée à $1^m,60$ par des travaux commencés en 1860, et ensuite jusqu'à 2 mètres par des travaux supplémentaires en 1878-81. De plus, la profondeur de $3^m,20$ entre Saint-Aubin et Paris, une distance de 217 kilomètres est assurée par neuf barrages et écluses, tandis que le mouillage de 2 mètres entre Paris et Montereau, distants de 83 kilomètres, n'a été obtenu qu'avec l'aide de treize barrages et écluses. Il en est de même sur le Rhin; à l'époque où la navigation est ouverte, la profondeur navigable du bas fleuve est de $2^m,40$ jusqu'à Cologne, de 2 mètres de Cologne jusqu'à un peu au-dessus de Coblenz, et de 2 mètres de ce point à Mannheim, excepté un bas-fond entre Bingen et Saint-Goar, où la cote descend à $1^m,50$ en temps de sécheresse. La profondeur a été améliorée en certains endroits, entre Mayence et Bingen, en régularisant et rétrécissant le chenal; mais il est probable que le seul moyen d'augmenter la profondeur sur les bas-fonds rocheux au-dessous de Bingen et de la rendre égale à celle que l'on trouve en aval, serait d'y construire un barrage avec écluse, à cause de la pente assez raide du lit du fleuve en cet endroit. Ces travaux auraient pour résultat non seulement de donner une profondeur plus grande tant désirée, mais encore de faciliter le trafic en amont, en diminuant la rapidité du courant et les risques à travers les passes rocheuses, et ne retarderaient que fort peu le trafic à la descente.

Les travaux de régularisation n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants sur le Mein; mais une profondeur minima de 2 mètres a été obtenue depuis son embouchure dans le Rhin, en face de Mayence, jusqu'à Francfort, par la construction de cinq barrages avec écluses sur un parcours de 34 kilomètres à partir de l'embouchure. Cette augmentation de

profondeur, de $0^m,90$ à 2 mètres, a eu pour résultat un si énorme développement de trafic qu'il a été décidé en février dernier, trois années à peine après l'achèvement des travaux, de porter la profondeur minima à $2^m,40$, en prévision de laquelle les seuils des écluses avaient été aménagés lors de leur construction. Cet accroissement de profondeur, s'il n'est pas suivi d'améliorations correspondantes sur le Rhin, surtout entre Bingen et Saint-Goar, aura le singulier résultat de donner plus de profondeur en remontant le Mein de Mayence jusqu'à Francfort que sur le Rhin en descendant de Mayence à Cologne. Mais, il est probable que le bassin plus restreint du Mein, comparé à celui du Rhin, l'expose davantage à manquer d'eau pendant les sécheresses, et que son étiage reste ainsi plus longtemps abaissé.

Il est prouvé par le trafic sur le Rhin jusqu'à Manheim, par celui du Mein jusqu'à Francfort, ainsi que par celui de la Seine et des canaux qui relient Paris aux bassins houillers de la Belgique et aux ports de la mer du Nord, qu'une profondeur minima de 2 mètres peut suffire à un commerce très considérable. C'est la normale qui a été adoptée sur les principales voies fluviales en France, et c'est celle qu'il faut chercher à atteindre sur toutes les voies fluviales importantes, quoique quelques abaissements rares, comme sur le Rhin entre Bingen et Saint-Goar, ne soient pas des obstacles insurmontables. Aussi une voie fluviale ne peut avoir droit au titre de voie principale, si elle n'a pas cette profondeur normale, ou si on ne peut l'obtenir sans trop de frais, à cause de conditions physiques exceptionnellement défavorables. D'ailleurs les meilleures voies sont celles qui peuvent fournir à un trafic croissant une profondeur croissante. On peut citer comme exemple celle de l'Aire et Calder en Angleterre, où la profondeur a été progressivement portée de $1^m,07$ à $2^m,17$ et finalement à $2^m,75$, laquelle entreprise, malgré la vive concurrence des chemins de fer, est toujours en pleine prospérité. Les canaux du Welland et du Saint-Laurent ont aussi été progressivement approfondis, de sorte qu'ils atteignent maintenant comme profondeur le chiffre de $4^m,27$. Sur des fleuves conduisant à des centres importants de commerce on doit chercher à obtenir la plus grande profondeur navigable possible, en tenant compte des dépenses et du bénéfice que produira le trafic qu'il est possible de prévoir, sans s'inquiéter de la profondeur en amont ni de celle des voies d'embranchement.

Dimensions des écluses. — Les dimensions des écluses sur un fleuve ont la même importance que la profondeur, car elles déterminent le tonnage des navires qui peuvent y passer. La profondeur sur les seuils doit être la même que le long de tout le chenal navigable et il y a avantage, lorsqu'on peut prévoir une amélioration future de la voie fluviale, de placer, en construisant les écluses, les seuils plus bas que le fond utilisable de la rivière, de façon à permettre un accroissement ultérieur de la profondeur, sans avoir à procéder à une reconstruction de l'écluse. C'est

le procédé qui a été heureusement employé dans la canalisation du Mein, les seuils des écluses ayant été fixés à $0^m,50$ plus bas que la profondeur navigable, ce qui simplifie beaucoup l'approfondissement projeté. La largeur de l'écluse doit laisser une certaine marge au delà de la largeur extrême de la plus grande péniche naviguant sur cette voie, de façon à ce qu'elle puisse librement entrer et sortir de l'écluse. Les dimensions réglementaires sur les principales voies fluviales en France sont : pour une profondeur de 2 mètres, $38^m,50$ de longueur et une largeur de $5^m,20$, mais sur la basse Seine il y a des écluses bien plus larges. Les écluses sur le canal de navigation Aire et Calder, l'entreprise la plus florissante en Angleterre, ont $65^m,80$ de longueur, $6^m,70$ de largeur et $2^m,75$ de profondeur; et, sur la navigation de la Weaver, en Cheshire, les dimensions respectives sont 67 mètres, 13 mètres et $4^m,60$. Il est bien entendu que les dimensions des écluses sur les parties basses des fleuves sont moins restreintes que sur les parties hautes, puisque plus en aval elles doivent pouvoir donner accès près des centres commerciaux, à des embarcations de mer, qui ne pourraient pas remonter plus haut et dont les dimensions dépasseraient les limites ordinaires. D'ailleurs le débit plus régulier et plus considérable des parties inférieures des fleuves les rend plus indépendantes des pertes d'eau des écluses. Aussi les écluses de la basse Seine ont-elles 140 mètres sur 17 et une profondeur de $3^m,20$ sur le seuil, afin d'être en rapport avec l'accroissement de la profondeur navigable du fleuve; à Suresnes et à Bougival les longueurs ont été respectivement portées à 160 mètres et 220 mètres. Sur le Mein, les écluses ont 85 mètres de longueur entre les portes, sur $10^m,50$ de largeur, et les seuils ont été placés à $2^m,50$ au-dessous du niveau de l'eau; et l'on a résolu de porter la longueur des écluses à 355 mètres au moyen d'une troisième paire de portes, afin de pouvoir admettre à la fois un remorqueur avec tout son train de péniches. Les écluses doivent être de dimensions suffisantes pour pouvoir recevoir les plus grands navires naviguant sur les eaux adjacentes, mais toute extension au delà de ces limites doit être déterminée par la position de la voie fluviale, la nature et l'étendue de son trafic; les plus grandes écluses étant demandées par les voies fluviales ayant une grande profondeur et l'accès direct à la mer, appropriées par conséquent à la grande navigation.

Il est utile d'abréger le temps de passage dans l'écluse en plaçant dans les bajoyers de larges vannes pour remplir ou vider rapidement le sas, en appliquant la force hydraulique pour ouvrir ou fermer les portes et en employant des cabestans de halage pour faire entrer et sortir les navires quand l'importance du trafic peut légitimer cette dépense. Dès que l'on a obtenu une profondeur suffisante, la rapidité du transit est la chose la plus importante pour le développement du trafic, car toute perte de temps équivaut à un allongement de parcours, ce qui augmente les frais

de transport et devient très préjudiciable dans le cas de concurrence avec d'autres voies fluviales ou avec des chemins de fer. Les ascenseurs qui économisent beaucoup de temps sur les canaux en remplaçant une série d'écluses ne seraient d'aucune utilité pour remplacer une seule écluse dont la mission n'est que de faire franchir la petite différence de niveau qui peut exister entre deux biefs d'un même fleuve.

Généralement on n'a guère à craindre le manque d'eau dans la grande navigation fluviale, et par conséquent les mesures pour y économiser l'eau n'y ont pas la même importance que sur les canaux, mais l'établissement de sas de différentes grandeurs l'un à côté de l'autre et d'une paire de portes intermédiaires dans les plus grandes écluses permet de diminuer les dépenses d'eau, facilite le passage de navires de dimensions diverses et active le transit. En élargissant la chambre de l'écluse entre les deux portes, on dispose d'un espace plus grand sans augmenter les frais de construction des entrées, qui forment la partie la plus dispendieuse de l'ouvrage. Cet expédient, très usité en Amérique, a été adopté sur la basse Seine, mais son adoption doit dépendre de la nature du trafic et de la quantité d'eau dont on dispose, car si, en général, le nombre de navires n'est pas suffisant pour remplir l'écluse, il en résulte un gaspillage d'eau.

Extension des communications maritimes et canalisation. — Depuis quelques années se manifeste le désir d'étendre les communications avec la mer et de convertir des villes de l'intérieur en ports de mer. Il y a des projets de ce genre pour Paris, Bruxelles et Manchester. Il est indiscutable que d'énormes avantages ont résulté de l'approfondissement des voies fluviales conduisant à Rouen, à Rotterdam, à Newcastle, à Glasgow et à Middlesbro, les transformant en véritables ports de mer, dont auparavant ils n'avaient que le nom. Mais toujours la marée atteignait auparavant ces villes, et la seule chose à faire pour les rendre accessibles aux navires de fort tonnage était de creuser le lit des fleuves par le dragage et la construction de digues latérales jusqu'à la mer. Le chenal ayant été rendu beaucoup plus profond, cela a facilité l'action de la marée, mais sans que sa limite ait été matériellement modifiée. Les avantages d'une communication directe avec la mer ont été si évidents par le grand essor que le commerce a pris à la suite de ces améliorations, que les villes situées plus en amont ont naturellement voulu obtenir à leur tour les mêmes facilités de trafic. Mais les projets de rendre la Seine navigable jusqu'à Paris et la Mersey jusqu'à Manchester pour les navires de fort tonnage, diffèrent entièrement des travaux d'amélioration fluviale maritime dont nous avons parlé. Ce sont là des entreprises gigantesques, pareilles à celles des canaux de Suez ou de Panama qui ont tant contribué à accroître la renommée des ingénieurs français. Mais les dépenses qui sembleraient raisonnables, lorsqu'il s'agit d'ouvrir une route utile au monde entier, ne pourraient plus être justifiées lorsqu'il ne s'agit que des intérêts d'une seule ville, si grands soient-ils. Le projet de creuser

un chenal pour la Mersey maritime jusqu'à Manchester a été abandonné et les travaux actuellement entrepris à sa place donneront les mêmes avantages et à bien meilleur marché. Si, à un moment donné, les intérêts de la ville de Paris exigeaient une meilleure voie fluviale que celle existante de $3^m,20$ de profondeur, il vaudrait mieux étendre le système de canalisation afin d'obtenir une profondeur navigable plus grande, que d'entreprendre l'exécution du projet d'amener la Seine maritime à Paris, qui coûterait des sommes si énormes et amènerait de si importantes modifications dans le régime du bassin de la Seine. La limite de refoulement du flux de la marée en amont indique bien l'endroit du fleuve où la canalisation peut naturellement commencer, et c'est la canalisation qui fournit le meilleur moyen d'obtenir une voie fluviale en amont de cette limite maritime.

Les différents systèmes de barrages mobiles. — Les barrages sont les compléments obligés des écluses dans la canalisation d'un fleuve. En élevant le niveau de l'eau pour en augmenter la profondeur; en retenant l'eau aux époques de sécheresse, ils en empêchent l'abaissement, qui arrive inévitablement dans cette saison sur les rivières à l'état naturel. Il est à peine nécessaire en France d'insister sur la nécessité d'entraver aussi peu que possible le cours d'un fleuve à l'époque des hautes eaux, afin de maintenir autant qu'on peut le faire le régime primitif de la vallée. Il est donc préférable d'adopter des barrages mobiles qu'on puisse enlever à cette époque. Ces barrages mobiles ont l'immense avantage de maintenir le niveau de l'eau en été tout aussi bien qu'un barrage fixe, de régulariser l'écoulement selon les circonstances, et de laisser le fleuve libre de toute obstruction pendant les hautes eaux. Les ingénieurs français furent les premiers à reconnaître ce principe et à le mettre en pratique, et c'est à Poirée, à Chanoine et à Desfontaines qu'on doit les principaux types de barrages mobiles, perfectionnés plus tard par leurs habiles successeurs (pl. I, fig. 1, 5, 7).

La première forme connue de barrage mobile consistait en des estacades placées en travers du fleuve, fermées par des poutrelles, pour établir une canalisation temporaire, et quand on les enlevait, il se produisait une crue momentanée suffisante pour faire franchir aux barques les bas-fonds en aval. Des barrages de ce type primitif furent introduits en Angleterre aussi bien qu'en Frpnce, et il y en a encore sur la Tamise au-dessus d'Oxford. Mais lorsqu'un système régulier de canalisation fut adopté en France, on se servit de procédés plus perfectionnés. On a expérimenté une foule de systèmes tels que les trappes de Laneuville sur la Marne supérieure d'après un système de barrage américain ; le barrage à double hausse de M. Thénard sur l'Isle, adopté plus tard sur une grande échelle dans les travaux d'irrigation de l'Inde, muni alors de l'important perfectionnement du frein hydraulique de M. Fouracres[1]; le barrage à

1. Proceedings inst., C. E., t. LX, p. 43, pl. V.

IRAND DRUM WEIRS.)

FIG 3

EZ. (PORT VILLEZ WEIR)
NE

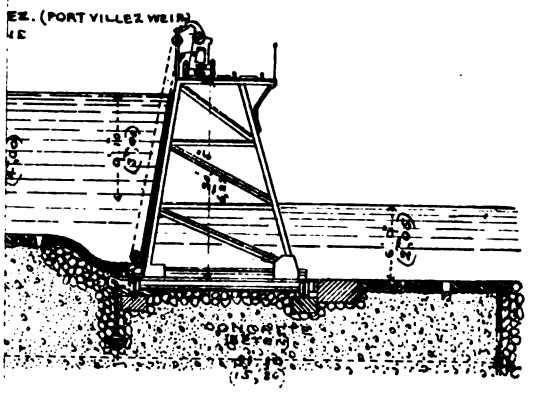


FIG 6.

PORT À L'ANGLAIS (PORT À L'ANGLAIS WEIR).
SEINE.

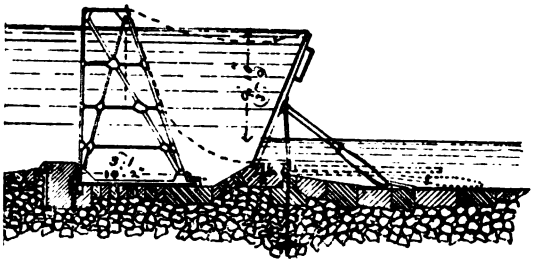
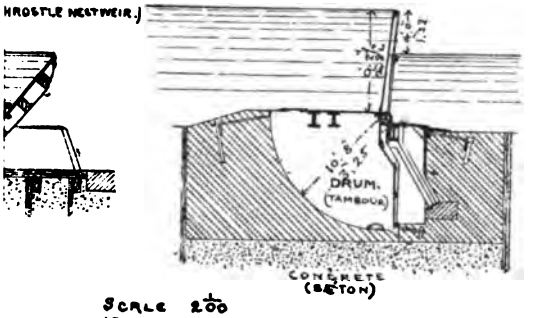


FIG 7

BARRAGE DE CHARLOTTENBURG (CHARLOTTENBURG WEIR).
SPREE.

6.

HROSTLE WEST WEIR.)



SCALE $\frac{1}{200}$

10 20 30 40 FT

ECHELLE DE METRES $\frac{1}{200}$

5 10 15

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

PAR

M. Leveson Francis VERNON-HARCOURT, M. A.
Membre de l'Institut des Ingénieurs Civils de Londres.

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

RAPPORT

DE

M. Leveson Francis VERNON-HARCOURT, M. A.

Membre de l'Institut des Ingénieurs Civils de Londres.

Les avantages de la conversion des fleuves en voies de navigation en eau tranquille, par la construction de barrages et d'écluses aux endroits convenables, pour faciliter la navigation intérieure, sont aujourd'hui bien reconnus. Les seuls points sur lesquels il peut s'élever des divergences d'opinion sont ceux qui concernent les meilleures méthodes de canalisation, l'étendue à donner à cette canalisation, la profondeur minima à obtenir, les frais de construction qu'on peut prévoir, et si cette dépense doit incomber à l'État ou si elle doit être faite par des compagnies particulières. Quelques-unes de ces questions n'admettent pas de solution générale, car la possibilité de l'exécution d'un projet de canalisation quelconque dépend des conditions physiques naturelles du fleuve, et les dépenses, subordonnées aux mêmes conditions, doivent aussi être calculées sur l'accroissement commercial probable qui pourra résulter de l'amélioration de la voie fluviale. L'amélioration des fleuves conduisant à de grands centres tels que Paris, Lyon, Bruxelles, Liège, Berlin, Mannheim, Francfort, pourrait légitimer des dépenses considérables, tandis que des travaux semblables sur des voies conduisant à des centres moins importants ne pourraient être entrepris que sous des conditions spécialement favorables. Les fleuves à cours tranquille se prêtent mieux à la canalisation que les fleuves rapides, torrentiels; leur pente étant plus douce, il est facile de les convertir en voies navigables d'eau tranquille avec moins de barrages et d'écluses; et leurs niveaux variant moins, leurs crues sont moins hautes et ils sont moins sujets à manquer d'eau pendant les temps de sécheresse. Pour les mêmes raisons, les cours inférieurs des fleuves sont mieux adaptés à la canalisation que les cours supérieurs vers les sources.

surface de la section du courant. Cette forme de barrage à hausses, quoique très facile à ouvrir, à fermer et à établir, ne peut s'appeler barrage mobile que dans un sens limité et, avec ses chaînes pour chaque hausse, ne conviendrait pas pour de larges ouvertures.

Barrages à tambour. — Jusque dans ces derniers temps, le barrage à tambour ne se trouvait que sur la Marne, où il fut introduit par M. Desfontaines, en vue de fermer les passes peu profondes de la rivière. Ce qu'il y a de plus remarquable dans ce procédé, c'est la régularisation absolue qu'on exerce sur le barrage en fermant ou en ouvrant à volonté les diverses vannes. Ce système emploie la pression de l'eau sur l'aube inférieure qui se trouve dans le tambour et qui entraîne l'aube supérieure en la relevant contre le courant ou qui la maintient abaissée sous un angle quelconque. Cependant, la profondeur nécessaire aux fondations du tambour au-dessous du seuil du barrage en augmentait considérablement les frais d'établissement et semblait rendre ce système inapplicable aux grandes ouvertures. Son adoption pour fermer les passes à trains de bois sur le Mein[1] et aussi sur une passe profonde à travers la Sprée, à Charlottenbourg[2] (pl. I, fig. 7), ont démontré que les fondations coûteuses n'empêchent pas son emploi dans les passes navigables, et partout où une régularisation parfaite du débit et l'ouverture ou la clôture rapide du barrage ont plus d'importance que l'économie dans la construction, cette forme de barrage peut présenter des avantages à l'avenir. On peut s'en servir aussi très utilement, de concert avec un barrage à fermettes pour régulariser le débit, par la précision avec laquelle on peut régler la position de l'aube supérieure. Le barrage à tambour constitue un moyen hydraulique très parfait, étant actionné par la pression de l'eau à la partie inférieure, ne nécessitant aucun aide et n'exigeant qu'un entretien peu coûteux.

Vannes de Stoney sur rouleaux libres. — Avant de quitter le sujet des barrages mobiles, on peut mentionner une autre forme de barrage, laquelle, quoique se rapprochant davantage du type des barrages à portes glissantes, tels que ceux de Teddington sur la Tamise[3], et autres barrages anglais, présente plus d'intérêt que ces derniers et qui, avec certaines modifications, pourrait remplir les conditions exigées pour les barrages mobiles. Ce barrage consiste en un système de larges vannes glissant sur des rouleaux libres et suspendues par des chaînes, se mouvant avec les vannes de chaque côté, de façon que le frottement est tellement diminué que les vannes peuvent être facilement levées, même contre une pression considérable de crue agissant sur leurs surfaces d'amont[4]. Ce système de vannes a été inventé, il y a quelques années, par M. F.-G.-M. Stoney, et les plus grandes portes d'écluses construites d'après ce principe se

1. Zeitschrift für Bauwesen, 1888, p. 27 et pl. XVII, et Proceedings Inst. C. E., vol. XCVI, pp. 191 à 193.
2. Zeitschrift für Bauwesen, 1886, p. 538, pl. XXXI-XXXII.
3. Proceedings Inst. C. E., vol. LX, p. 25, pl. I, fig. XI-XIII.
4. Proceedings Inst. C. E., vol. LX, p. 88, pl. VI.

trouvent à Belleek et à Balinasloe en Irlande, sur l'Erne et le Suck, pour régulariser les travaux de drainage desservis par ces fleuves, que j'ai eu l'occasion de visiter en novembre dernier.

Les vannes de Belleek consistent en trois ouvertures de $8^m,90$ de large, fermées par des portes de $9^m,48$ de large, sur $4^m,40$ de hauteur. Chacune pèse 13 tonnes et un seul homme peut facilement les lever malgré une pression d'eau de 80 à 100 tonnes; on les lève à une hauteur de $2^m,75$ au-dessus du seuil. Une petite turbine, située sur la rive droite, permet de lever toutes les vannes simultanément. Un pont léger, supporté par des piles placées entre les vannes, supporte le mécanisme destiné à enlever les portes et permet de traverser le fleuve. Ces vannes ont permis d'enlever un haut fond de roches dans la rivière. En même temps, on a pu maintenir pour la navigation le niveau de l'eau à l'époque des sécheresses, dans le lac Erne et le canal de l'Ulster y adjacent, et on a réduit la montée des crues de 3 mètres à 90 centimètres, en levant les portes à l'approche des hautes eaux. Elles ont été établies en 1883. Les vannes de Balinasloe ont quatre ouvertures de $7^m,60$ de portée, fermées par des portes glissant sur rouleaux libres comme à Belleek, de $2^m,67$ de hauteur, qu'on peut élever de $2^m,13$ au-dessus du seuil. Les vannes sont fixées à la partie supérieure d'un pont en maçonnerie, traversant en trois travées le Suck à Balinasloe, et, comme elles sont à contrepoids, elles peuvent être plus facilement levées que celles de Belleek, qui ne sont pas ainsi équilibrées.

Il est évident que ce système convient bien aux vannes d'écluses, et on établit des vannes de ce système sur le canal maritime de Manchester[1] pour régulariser l'écoulement de la Mersey et de la Weaver, dans l'estuaire de la Mersey, ces deux fleuves étant coupés par le canal. Mais, si l'on suspendait deux portes de ce genre aux deux bras d'un pont tournant, pivotant sur une pile centrale, elles serviraient à former des passes navigables et leur emploi comme portes d'écluses et vannes combinées a été proposé par l'inventeur.

Barrages mobiles sur des fleuves à marée. — On m'a consulté l'année dernière sur les moyens de remédier au mauvais état de la Tamise, entre Richmond et Teddington. Par suite de la disparition des vieux ponts de Londres avec leurs piliers massifs et leurs étroites ouvertures, et par suite des dragages, l'étiage du fleuve a été graduellement abaissé. En même temps, les Compagnies d'eau ont continuellement empiété sur son débit estival, au-dessus du barrage de Teddington, limite du flux de la marée, de sorte qu'en temps de sécheresse un tiers environ de ce débit total est soustrait avant d'atteindre ce barrage. Par conséquent, de larges portions du lit du fleuve sont découvertes à marée basse, et, en été, se recouvrent de vase déposée par la marée au moment de la morte eau. Aussi la navi-

1. Les vannes déjà construites ont $9^m,20$ de largeur, $4^m,90$ de profondeur et pèsent 24 tonnes, entièrement équilibrées; et un seul homme peut lever une porte de $1^m,20$ à $1^m,35$ par minute.

gation n'y est plus possible que pendant un temps limité vers la marée haute, et la mauvaise condition sanitaire de cette partie du fleuve à marée basse a beaucoup déprécié la valeur des propriétés riveraines. La difficulté était de trouver un moyen d'améliorer cet état de choses à marée basse sans restreindre la marche de la marée dans un fleuve qui plus bas appartient au vaste port de Londres. Un barrage fixe au niveau de la mi-marée, près de Richmond, en rendant au fleuve à peu près sa condition primitive, et en recouvrant d'eau les bancs de vase, arrêterait le flot et élèverait le niveau de l'eau au moment de la marée haute. Pour résoudre ce problème, je concluais qu'il faudrait établir, un peu en aval de Richmond, un barrage mobile qui, étant fermé, retiendrait l'eau environ au niveau de la mi-marée, mais qui serait entièrement ouvert tant que ce niveau serait dépassé. On devrait donc ouvrir un pareil barrage dès que le fleuve s'élèverait au-dessus du niveau moyen, et le fermer dès que le fleuve descendrait au-dessous. Ainsi, excepté pendant les crues, le barrage devait être ouvert et fermé à chaque marée, condition qui ne pourrait être remplie par aucune espèce de barrage à fermette ou à hausse. Les seuls systèmes que je connaisse qui puissent satisfaire à cette condition sont le barrage à tambour ou bien une forme modifiée des vannes sur rouleaux, suspendues à un pont tournant établi sur une partie du fleuve. Comme un pont élevé, avec ses portes, aurait l'inconvénient de nuire au pittoresque du paysage en cet endroit, un barrage à tambour serait préférable et, placé dans un fleuve à marée, occuperait une position absolument nouvelle.

Considérations générales sur la canalisation des rivières. — Il y a un intérêt considérable à étudier l'étendue que comporte la canalisation des rivières et le mode de répartition des dépenses. On a déjà fait remarquer que la canalisation devient plus difficile à mesure que l'on remonte, car l'inclinaison du lit de la rivière devient plus grande, nécessite plus de barrages et d'écluses, le volume d'eau diminue en même temps que la profondeur et le débit est moins régulier. D'ailleurs, à mesure que l'on remonte les pentes, les vallées deviennent plus étroites et moins fertiles et, par suite, moins peuplées. Par conséquent, la canalisation des fleuves au delà d'une certaine limite devient inutile à mesure que les travaux deviennent plus onéreux et que les chances de trafic diminuent, à moins qu'on n'ait en perspective un raccordement avec d'autres voies fluviales. Et, même dans ce cas, un canal latéral est souvent préférable à une rivière canalisée, surtout si elle est torrentielle, comme dans la vallée supérieure de la Marne, où le trafic suit le canal. Il est évident que des compagnies privées n'entreprendraient pas des travaux qui ne promettent pas un profit raisonnable en comparaison des dépenses. Pour l'État, le cas peut être différent, parce qu'une voie de raccordement ou une voie fluviale non rémunératrice en elle-même peut indirectement donner du bénéfice à l'État en ouvrant des communications et en développant le trafic dans d'autres régions. Mais, sans examiner s'il convient à l'État de considérer

les voies fluviales comme des voies ordinaires, de les établir et les entretenir aux frais des contribuables, il est hors de doute que l'État est plus en mesure que les compagnies privées d'établir un système complet de voies de communication par eau et de les mettre sans frais à la disposition du public. Les bénéfices indirects, en dehors des limites d'une voie fluviale donnée, peuvent ne pas être fructueux pour la compagnie privée, propriétaire de cette voie, mais peuvent être rémunérateurs pour l'État qui bénéficie de la prospérité générale. Sur le continent il n'y a pas lieu, comme en Angleterre, de reprocher à l'État, propriétaire des voies fluviales, de faire concurrence aux compagnies de chemins de fer, puisque la plus grande partie des chemins de fer appartient également à l'État. De plus, la propriété par l'État des voies fluviales d'un pays permet de faire supporter les frais des travaux d'améliorations utiles, mais non rémunératrices par les autres voies fluviales plus fréquentées et facilite l'établissement d'un système uniforme pour les voies principales, abolissant ainsi les différences de profondeur ainsi que celles des dimensions des écluses, si préjudiciables au développement du commerce général. Mais l'État, gérant des fonds publics, semble être obligé d'accorder des avantages égaux au pays entier et se trouve forcé de procurer à toutes les provinces les mêmes facilités de transport qui se trouvent réalisées naturellement dans les régions les mieux situées, et il est obligé par conséquent d'entreprendre des travaux qui ne seront jamais rémunérateurs. Un moyen d'obvier à cet inconvénient serait d'obliger la province qui réclame une nouvelle voie ou l'amélioration d'une ancienne, de fournir une subvention ou de payer un impôt, de manière à lui faire supporter une partie des dépenses lorsque les travaux auront été approuvés, l'État se réservant le contrôle et fournissant lui-même une subvention. Une disposition de ce genre pourrait avoir des avantages, et empêcherait des entreprises inutiles, auxquelles les provinces hésiteraient à souscrire si les résultats ne devaient pas en être assurément avantageux.

La statistique du trafic sur les voies de navigation intérieures en France montre que le mouvement principal s'effectue surtout sur la Seine et sur les voies faisant communiquer Paris avec le bassin houiller du nord-est et les ports de la mer du Nord. Les autres voies de navigation intérieure ayant un trafic satisfaisant sont : le canal latéral à la Marne, le canal du Centre, celui du Berry communiquant avec le premier, et convergeant tous vers Paris. Sur les trois quarts de la longueur totale (5666 kilomètres) de voies navigables en France le trafic est inférieur à 100 000 tonnes par an, et ce n'est que sur un parcours de 42 kilomètres qu'il est supérieur à 2 000 000 de tonnes par an. Sur un parcours de 217 kilomètres il y a un mouvement de 1 à 2 000 000 de tonnes, et sur 327 kilomètres, le chiffre du tonnage est de 500 000 à 1 000 000 de tonnes par an.

Ces chiffres montrent le peu d'importance du trafic sur la plupart de ces voies intérieures, quoique affranchies du droit de péage, et ils font voir que si l'extension de la canalisation est utile, elle ne peut être entre-

prise que par l'État, les trois quarts de la navigation intérieure n'offrant pas de stimulant à l'entreprise privée.

Conclusions. — Les conclusions à tirer des considérations précédentes sont les suivantes :

1° La profondeur de deux mètres est le minimum à admettre pour les lignes principales de navigation intérieure d'un pays, et cette profondeur avec des conditions favorables peut suffire à un trafic très considérable.

2° Pour les parties basses de fleuves ayant accès facile à la mer, une plus grande profondeur présente de nombreux avantages, étant démontré que le trafic et le tonnage augmentent en raison de la profondeur utilisable.

3° La grandeur des écluses doit être déterminée par la nature du trafic, et lorsqu'on les construit sur une voie nouvelle il est bon, quand on prévoit que l'on pourra être amené à augmenter la profondeur navigable, d'établir les seuils plus bas que la profondeur primitivement fixée, de façon que plus tard les mêmes écluses puissent servir sans changements à une navigation améliorée, ce qui obvie aux inconvénients, aux pertes de temps, et aux dépenses des travaux nécessaires pour abaisser les radiers.

4° Des écluses plus grandes sont nécessaires dans la partie inférieure des fleuves entre la mer et les centres commerciaux, où le trafic est généralement plus considérable et il est bon d'établir des portes intermédiaires dans les sas ou bien des écluses plus petites, en rapport avec les dimensions des différentes sortes d'embarcations et en vue d'économiser l'eau et surtout le temps employé.

5° Dans les écluses par lesquelles passe un trafic considérable, on peut recommander d'établir des vannes dans les bajoyers et d'employer la force hydraulique pour économiser le temps, activer le transit et augmenter la capacité de trafic de l'écluse.

6° La canalisation est bien plus efficace pour approfondir le lit d'un fleuve que l'endiguement, à moins que la pente ne soit faible et que le manque de profondeur ne soit dû à des variations dans la largeur du fleuve.

7° Au delà de la limite naturelle de la marée, la canalisation est préférable à une extension du chenal maritime par grandes excavations; elle est bien moins coûteuse et tout aussi efficace, surtout avec des aménagements suffisants comme ceux qu'on établit sur le canal maritime de Manchester, et elle modifie moins les conditions naturelles du bassin du fleuve.

8° Les barrages à fermettes et les barrages à tambour sont les meilleures formes de barrages mobiles.

9° Au moyen de la substitution aux aiguilles des panneaux à coulisses ou de rideaux articulés, le barrage à fermettes peut dépasser considérablement la hauteur limite ordinaire ($3^m,35$); elle peut atteindre jusqu'à $6^m,40$, comme au barrage de Suresnes. Les fermettes à charnières sur le radier pouvant être abaissées sur le lit du fleuve sont la forme la moins coûteuse, et peuvent être facilement manœuvrées dans des fleuves à cou-

rant tranquille. Pour les fleuves à courant rapide, il est préférable d'adopter la solution, plus parfaite mais plus coûteuse, des fermettes suspendues à un pont supérieur.

10° Le barrage à tambour est la forme la plus parfaite de barrages mobiles, et quoique ses fondations coûteuses semblent devoir en limiter l'usage à celui de régulateur de débit, il a cependant déjà été adopté dans les passes navigables et son maniement facile sans l'aide de passerelles propagera probablement son emploi dans certains cas particuliers.

Le barrage à tambour peut aussi servir à retenir l'eau dans la partie supérieure peu profonde d'un fleuve à marée au moment du jusant, tout en laissant la voie navigable ouverte au flux et au reflux tant que le niveau est au-dessus du minimum.

11° L'amélioration des voies fluviales dans l'ensemble d'un pays ne peut être entreprise sur une large échelle que sous le contrôle de l'État.

12° Les voies fluviales ne devant pas être considérées comme d'utilité publique au même titre que les chemins ordinaires, les considérations de bénéfices directs ou indirects doivent avoir leur influence sur les projets d'amélioration ou d'extension de la canalisation des fleuves, et les provinces directement intéressées à ces travaux devraient partager les dépenses avec l'État.

13° Les statistiques du trafic sur les rivières canalisées en France démontrent qu'une grande proportion de ces voies navigables ne rapportent que peu ou point de bénéfices directs, et n'ont d'autre utilité que d'abaisser les prix de transport dans les régions qu'elles traversent. Par conséquent de telles entreprises dans des provinces où elles ne seraient pas rémunératrices ne peuvent être exécutées que par l'État et ne sont que d'une utilité douteuse à la nation en général.

14° Les parties basses de fleuves ayant libre accès à la mer, les grands fleuves au milieu des pays de plaine, pouvant servir facilement pour la navigation intérieure à fort tonnage, ainsi que les voies spéciales reliant les grands centres avec les districts houillers ou miniers, ont en général un trafic considérable et servent de débouchés utiles et pratiques au commerce intérieur, et leur amélioration constitue un bienfait national.

Londres, 1er juin 1889.

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

PAR

M. G. PAVIE
Ingénieur des Ponts et chaussées, à Meaux.

DE LA

CANALISATION DES RIVIÈRES

ET DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

RAPPORT

DE

M. G. PAVIE

Ingénieur des Ponts et chaussées, à Meaux.

Si, bien avant Pascal, les rivières étaient déjà *des chemins qui marchent*, dont les populations qui s'étaient fixées sur leurs bords, parce qu'elles y trouvaient la vie plus facile et plus sûre, appréciaient la commodité pour le transport des voyageurs et des marchandises, il ne faut pas oublier que, même de son temps, la circulation y était soumise à des sujétions qui nous paraîtraient aujourd'hui intolérables.

Obligée de compter avec tous les inconvénients et les dangers que présente un cours d'eau à l'état naturel, la navigation était encore entravée, aux rares époques où les rivières lui offraient un mouillage suffisant, par la multiplicité des moulins dont la valeur assurait la protection. Les édits de 1669 et 1672, en assurant et en réglementant dans l'intérêt toujours prépondérant de l'approvisionnement de Paris, l'ouverture régulière de ces barrières qui fermaient les cours d'eau, réalisèrent une amélioration considérable, mais leur principal inconvénient, la difficulté de franchir l'obstacle formé par le barrage, à travers un pertuis étroit où les eaux se précipitent avec violence, subsista longtemps encore, bien que depuis le quinzième siècle un artiste de génie en eût donné ou tout au moins fait connaître la solution admirable.

L'invention des écluses à sas, accueillie en France avec une grande faveur et appliquée dès le commencement du seizième siècle sur l'Ourcq et la Vilaine, ouvrit une voie nouvelle en permettant de conduire les bateaux jusque dans l'intérieur des terres et de leur faire franchir les faîtes qui séparent les vallées des grands fleuves.

Il ne semble pas qu'on ait songé à en tirer sérieusement parti pour l'amélioration des rivières, car la canalisation du Lot, réalisée au moyen d'écluses accolées aux barrages fixes plus ou moins transformés des anciens

moulins, restera longtemps, tout intéressante qu'elle soit, un fait à peu près isolé, et ne saurait être comparée ni comme importance ni surtout comme avenir à la construction des canaux de Briare et du Languedoc dont l'ouverture fut le point de départ d'une véritable révolution dans l'industrie des transports par bateau.

Cette indifférence pour l'amélioration des rivières est pourtant plus apparente que réelle, et tient à la nature même des choses et aux conditions dans lesquelles on se trouvait placé à cette époque. Les anciens moulins, dont l'existence remontait aux premiers siècles de notre ère, avaient été établis dans le but exclusif d'utiliser le mieux possible les chutes hydrauliques réalisées au moyen de barrages fixes dans lesquels on n'avait ménagé, en dehors des vannes motrices, que quelques rares ouvrages de décharge pour l'écoulement des crues les plus importantes. Leur intérêt était le plus souvent opposé à celui de la navigation, et s'ils lui prêtaient dans une certaine mesure un concours utile en ralentissant le cours des eaux et en augmentant le mouillage pendant les périodes de sécheresse, ce relèvement du plan d'eau, qui n'était soumis à aucune règle et que la hauteur forcément restreinte d'ouvrages fixes, barrant presque complètement le lit des rivières, limitait nécessairement, ne constituait à aucun titre une véritable canalisation. Leur passage, qui offrait en toute saison des difficultés et des dangers, devenait à peu près impossible pendant les crues, et le remplacement des pertuis par des écluses, tout en réalisant dans bien des cas une amélioration importante, n'eût pas supprimé entièrement ces inconvénients. La multiplicité des barrages, qui s'imposait avec les faibles retenues que comportent des ouvrages fixes, eût d'ailleurs rendu cette solution onéreuse, et on s'explique facilement que la substitution des écluses aux anciens pertuis soit restée un fait isolé et une amélioration purement locale, bien qu'elle ait eu parfois le caractère d'un véritable bienfait, comme lorsqu'elle a fait disparaître le légendaire pertuis de la Morue, terreur des mariniers de la basse Seine.

La canalisation des rivières date, à vrai dire, de l'invention des barrages mobiles; elle a reçu dans notre pays, où cette idée moins féconde mais aussi importante pour la navigation intérieure a pris naissance, un développement considérable qui semble justifié par la nature même des cours d'eau à régime régulier, à faible pente et à débit modéré auxquels elle a été appliquée.

Les barrages à fermettes mobiles imaginés par M. Poirée et essayés avec succès en 1834, à Basseville sur l'Yonne, en fournissant le moyen de barrer sans piles intermédiaires une rivière si large qu'elle fût et de lui rendre son cours naturel dès que le besoin s'en faisait sentir, ont permis aux ingénieurs d'aborder enfin avec certitude et dans toute son ampleur le problème de l'amélioration des rivières, dont le développement des autres voies de transport et l'accroissement rapide du commerce et de l'industrie ne permettaient plus de différer la solution.

La transformation d'un cours d'eau à l'état naturel comporte avant tout le redressement des courbes trop prononcées, le dragage des hauts-fonds les plus gênants, la défense et la régularisation des berges.

Les succès obtenus par M. Fargue sur la Garonne, par MM. Jacquet et Girardon sur le Rhône, ont montré que ces travaux de régularisation et de correction qui avaient déjà fait en France l'objet d'essais anciens plus ou moins heureux, et qui ont reçu en Allemagne un très grand développement, sont suffisants pour assurer à la batellerie sur certains fleuves le mouillage dont elle a besoin. Mais l'amélioration que l'on peut ainsi obtenir doit être nécessairement complétée sur la plupart de nos rivières par la création de retenues artificielles ralentissant l'écoulement des eaux pour conserver la profondeur nécessaire, que les barrages mobiles permettent seuls de réaliser avec certitude sans dommage pour les riverains, et que les bateaux franchissent facilement au moyen des écluses tant que le débit de la rivière n'est pas assez important pour qu'il soit nécessaire de la rendre à son cours naturel. A ce moment la navigation est encore possible, puisque les barrages mobiles abaissés n'opposent aucun obstacle à l'écoulement des eaux, mais la violence du courant la rend de plus en plus difficile, surtout à la remonte, et elle cesse en général nécessairement dès que les eaux commencent à déborder.

L'histoire de la canalisation des rivières se confond donc avec celle des barrages mobiles et des divers perfectionnements qu'on a apportés, surtout dans ces dernières années, à l'admirable invention de M. Poirée.

Cette invention est trop justement célèbre pour qu'il convienne de la décrire longuement; on sait qu'elle consiste essentiellement à établir sur un radier général en travers de la rivière une série de *fermettes* placées dans le sens du courant et mobiles autour de leur base. Ces fermettes, dont l'épaisseur ne dépasse pas quelques centimètres, peuvent se rabattre en se superposant dans un refouillement du radier, mais lorsqu'elles sont relevées et réunies par leurs *barres d'attaches*, elles soutiennent la partie supérieure d'un rideau d'*aiguilles* (sorte de petits chevrons verticaux depuis longtemps employés à la fermeture des anciens pertuis) qui s'appuient par leur pied sur le seuil du barrage. Quelques planches appuyées sur la traverse supérieure des fermettes complètent le système en constituant une passerelle sur laquelle le barragiste circule facilement d'une rive à l'autre pour poser ou retirer les aiguilles, ce qui lui permet de régler à volonté la retenue suivant l'état des eaux et les besoins de la navigation.

Le système est simple, peu coûteux et se prête admirablement aux exigences variées de la pratique : il a l'immense avantage de n'exiger l'emploi que d'engins robustes, faciles à réparer ou à remplacer, que l'on peut abandonner sans crainte aux soins souvent peu intelligents d'un barragiste qui, sauf dans des cas absolument exceptionnels, peut en assurer à lui seul la manœuvre; cette qualité a bien son prix quand les ressources restreintes dont on dispose ne permettent pas d'entretenir le personnel nom-

breux, bien exercé et à peu près constamment disponible qu'exige la manœuvre de systèmes plus modernes dont les qualités ne compensent pas toujours la complication.

Sous cette forme primitive et un peu rudimentaire le système de M. Poirée est parfaitement approprié à la canalisation des rivières sur lesquelles la faible hauteur des berges ne permet pas de réaliser des retenues très élevées, aussi a-t-il fait l'objet d'applications nombreuses à une époque où la batellerie fluviale considérait la création de retenues de 1 m. 60 comme un progrès immense depuis longtemps réclamé.

Sur certaines rivières où, par suite d'habitudes anciennes et de circonstances particulières, on cherchait à obtenir des flots entraînant à la descente les bateaux et les trains de bois, la manœuvre successive des différents éléments qui composent le barrage paraissait trop lente et l'esprit ingénieux des inventeurs n'a pas tardé à remédier à ce qui semblait alors un grave inconvénient du système. C'est à cet ordre d'idées qu'il faut rattacher des essais intéressants, mais aujourd'hui un peu abandonnés; comme les systèmes d'échappement de MM. Charles Poirée, Chanoine, Kummer, etc., où les types de planchers métalliques se replient en même temps que les fermettes.

La solution du problème de l'ouverture presque immédiate des barrages devait être donnée par M. Chanoine sous une forme tout à fait différente et d'ailleurs extrêmement élégante; elle a perdu beaucoup de son intérêt le jour où l'on a reconnu qu'en soumettant les radiers à de rudes épreuves, elle se conciliait mal avec les exigences d'une navigation régulière, l'avantage momentané du flot ayant pour conséquence nécessaire et fâcheuse l'épuisement du bief et la création d'affameurs.

Un défaut plus grave, et qui a longtemps empêché de donner à ce système de barrages mobiles l'extension que lui méritaient ses qualités précieuses de simplicité et d'économie, était de conduire à multiplier les ouvrages en ne se prêtant pas à la création de retenues importantes.

Cette réserve était due, peut-être dans une certaine mesure, à l'influence de l'inventeur qui, arrivé aux termes d'une carrière glorieuse, engageait volontiers les jeunes ingénieurs qui lui soumettaient des projets un peu plus hardis à ne pas sortir des limites où il avait trouvé le succès; mais elle était surtout motivée par les difficultés que présente la manœuvre des aiguilles quand on leur donne les dimensions dont elles ont besoin pour soutenir les retenues élevées qu'exigent les besoins toujours croissants de la navigation.

Cette manœuvre paraît si simple quand on la voit exécuter par un barragiste exercé, qu'on ne résiste pas toujours à la tentation de l'essayer; elle exige en réalité un peu d'habitude et un tour de main facile à acquérir quand il s'agit d'aiguilles de faible équarrissage et de $2^m,50$ à 3 mètres de hauteur comme celles qui ferment les anciens barrages Poirée, elle devient aussi difficile que dangereuse quand on dépasse ces dimensions.

Un perfectionnement récent résout cette difficulté de la façon la plus heureuse en apportant aux barrages Poirée une amélioration considérable sans rien leur enlever de leur simplicité.

Les aiguilles à crochets de M. Guillemain, qui sont aujourd'hui d'un usage courant sur la Seine et sur la Marne, ne diffèrent des aiguilles ordinaires que par l'addition d'un crochet en fer embrassant la barre d'attache qui est de forme cylindrique. Ce crochet, par lequel les aiguilles restent fixées à la passerelle, rend leur manœuvre aussi simple que rapide; pour tendre sa retenue, le barragiste, d'autant plus adroit qu'il n'a plus aucun danger à redouter, place l'aiguille horizontalement, le crochet à cheval sur la barre d'appui et, maintenant la pièce par la poignée, laisse le pied s'immerger en vertu de son poids. Pour déguiller, il lui suffit d'agir sur le talon du crochet, soit avec un cric léger, soit tout simplement avec un levier de manière à soulever les aiguilles d'une quantité suffisante pour leur faire dépasser le seuil sur lequel elles s'appuient. Le courant leur fait continuer l'arc de cercle qu'elles avaient décrit pour se mettre en place et, pendant que la retenue s'efface, elles restent suspendues à la barre d'appui. On a alors tout le temps de les enlever soit pour les ranger, soit pour les poser de nouveau si l'abaissement du bief est suffisant, ce qui simplifie énormément la besogne du barragiste et le dispense souvent d'avoir recours à un aide. Grâce à cette modification très simple, on a amélioré sans complication inutile les qualités de ce système et on a pu l'appliquer avec succès à des retenues de $3^m,50$ à 4 mètres que les dispositions anciennes n'auraient pas permis de réaliser. Enfin, en augmentant ainsi les dimensions des aiguilles, on augmente notablement l'étanchéité du barrage, ce qui fait disparaître ou atténue singulièrement un de leurs principaux inconvénients. L'étanchéité absolue, qui ne s'impose d'ailleurs que dans des circonstances exceptionnelles et pendant des périodes assez courtes, est en effet facile à obtenir quand on dispose d'un bon rideau d'aiguilles bien résistantes, soit avec quelques herbes, soit plus élégamment avec des rideaux en toile ou en cuir, ou même avec les stores de M. Caméré convenablement réduits.

Ainsi complété et étendu, le vieux barrage à aiguilles de M. Poirée satisfait d'une façon aussi complète que possible à toutes les nécessités de la pratique ordinaire : simple, peu coûteux, d'un maniement facile et sûr, il se prête à toutes les circonstances, même à un exhaussement assez notable du plan d'eau des biefs qu'imposent souvent les exigences toujours croissantes et d'ailleurs légitimes de la batellerie, mais que des systèmes plus nouveaux et très perfectionnés ne permettent pas de réaliser.

Bien que la limite d'application des aiguilles ait été ainsi considérablement étendue, on peut avoir à créer, dans certains cas exceptionnels, des retenues dont la hauteur ne permet plus d'avoir recours à ce système de fermeture ; on a alors été conduit à remplacer les aiguilles verticales par des poutrelles horizontales. La longueur des pièces de bois est alors déter-

minée par l'espacement des fermettes au lieu de l'être par la hauteur de la chute, on peut en diminuer notablement l'épaisseur et le poids, et par suite en augmenter la largeur jusqu'à en faire, avec M. Boulé, de petites vannes carrées que l'on place les unes au-dessus des autres contre les fermettes ; on peut, au contraire, avec M. Caméré, en réduire les dimensions transversales et, en les reliant l'une à l'autre par des charnières, constituer un rideau que l'on enroule au moyen de chaînes qui les embrassent toutes à la fois. Cette solution présente d'incontestables avantages. Elle permet d'aborder sûrement la création des retenues les plus élevées avec un rideau de fermeture résistant et bien étanche, d'une manœuvre toujours facile.

Mais le succès complet obtenu dans cette voie par des ingénieurs habiles qui ont su approprier ce système aux besoins nouveaux auxquels ils voulaient donner satisfaction, ne doit pas faire oublier que ces dispositions ne seraient pas toujours aussi bien justifiées et doivent être réservées aux cas exceptionnels où les aiguilles ne peuvent plus s'appliquer. Un calcul très simple montre en effet que, sous une même charge, les aiguilles n'imposent aux fermettes que les deux tiers environ de l'effort qu'elles auront à supporter si l'on emploie des stores ou des panneaux, car dans ce dernier cas le seuil n'intervient plus pour soutenir une partie de la charge. On est donc conduit, toutes choses égales d'ailleurs, à donner aux fermettes des dimensions beaucoup plus importantes, ce qui en augmente le prix et le poids et présente de sérieux inconvénients pour leur manœuvre, malgré les perfectionnements dont elle a été l'objet par l'emploi de la chaîne de M. Mégy ou des barres articulées employées par M. Caméré.

Ces deux systèmes de fermeture absolument distincts, bien qu'ils reposent sur le même principe et donnent lieu à la même objection théorique, ont été employés simultanément au barrage de Suresnes; toutefois ce n'est pas là que les rideaux ont trouvé leur véritable emploi, c'est dans les barrages d'un type nouveau dont la description terminera cette étude et sur lesquels leur inventeur les a appliqués avec le plus grand succès.

A peu près à l'époque où M. Poirée construisait sur l'Yonne son premier barrage à fermettes, M. Thénard, chargé de l'entretien de la rivière d'Isle, perfectionnait les petites vannes à charnières dont on se servait depuis longtemps pour exhausser pendant les basses eaux la retenue de certains barrages fixes. Son système assez compliqué n'a plus aujourd'hui qu'un intérêt historique, il mérite cependant d'être signalé, car on y trouve la première application de la *barre à talons*, et c'est en cherchant à le perfectionner que M. Chanoine fut conduit à imaginer un système dont le succès a longtemps balancé celui des barrages à fermettes et auquel il a donné son nom, bien que M. Carro en ait eu également l'idée.

La *hausse Thénard* se compose d'un cadre en charpente, mobile autour de sa base et qu'on maintient relevé contre le courant au moyen d'une béquille qui porte le nom d'*arc-boutant*. Ces deux éléments essentiels se

retrouvent dans la *hausse à bascule*, mais l'addition d'un organe nouveau, *le chevalet*, donne au système des qualités nouvelles.

La hausse, dont la partie inférieure est devenue libre et s'appuie seulement sur un seuil, tourne autour d'un axe horizontal placé dans le voisinage de son centre de pression ; cette charnière forme la partie supérieure du chevalet qui, lui, pivote autour de sa base quand il n'est pas maintenu par l'arc-boutant. Les mouvements de la hausse sont ainsi rendus indépendants de ceux de son support, ce qui offre de nombreux avantages pour la manœuvre.

Lorsqu'il s'agit d'abattre le barrage, la *barre à talons* — sorte de crémaillère dont les dents sont disposées en progression arithmétique et qu'on actionne de la rive au moyen d'un cric placé dans un puits de la culée — vient faire échapper successivement les arcs-boutants de leurs arrêts, et détermine par suite l'effacement du système sous l'action de la pression exercée par la retenue. Pourvu que le fonctionnement de la barre à talons soit assuré, et c'est là un point assez délicat, on obtient donc en quelques minutes l'ouverture complète de la passe, ce qui est précieux dans beaucoup de cas, notamment quand on veut obtenir des flots, ou livrer passage à des glaces ou à des corps flottants, mais ce qui offre, en revanche, de très sérieux inconvénients tant pour les radiers que pour le régime des biefs inférieurs quand on opère sur des retenues importantes.

Quoi qu'il en soit, cette manœuvre s'exécute sans danger pour le personnel et en général assez facilement. Si d'ailleurs l'état défectueux de la barre à talons, aussi difficile à constater qu'à réparer, venait à la faire manquer, l'inconvénient ne saurait entraîner un désastre, au moins pour les riverains au moment des crues. En effet, tant que l'eau est basse, la pression qui s'exerce sur la culasse domine celle que supporte la volée et la hausse reste debout; mais, si le niveau s'élève assez pour que la volée — toujours plus longue — devienne la plus chargée, la hausse s'évite au courant, ouvrant ainsi aux eaux un passage suffisant.

La sensibilité de la hausse, c'est-à-dire la tendance plus ou moins grande au basculement qu'elle peut présenter, dépend évidemment de la position donnée à son axe de rotation, placé, comme nous l'avons dit, au voisinage de son centre de pression; on peut donc dans certaines limites la modifier à volonté. C'est dans cette voie que l'inventeur a cherché par des dispositions curieuses, mais que l'expérience n'a pas consacrées, à rendre son système automobile au moins pour les passes peu profondes.

La manœuvre de relevage est, au contraire, beaucoup plus délicate et la difficulté qu'elle présente dans les passes profondes restera toujours la plus grave objection qu'on puisse faire au barrage Chanoine, car les dispositions qui permettent de parer à cet inconvénient ne peuvent se réaliser qu'en compliquant notablement le système et en lui enlevant par conséquent ses qualités de simplicité et d'économie.

Pour relever une hausse, on la saisit par sa partie inférieure, et on la tire vers l'amont; placée ainsi horizontalement, elle n'oppose que peu de prise au courant, et la traction qu'on exerce au moyen d'un treuil suffit alors pour relever le chevalet, qui pivote autour de sa base en entraînant avec lui l'arc-boutant. Quand celui-ci, remontant sa glissière, est venu s'appuyer sur son arrêt, il suffit de tirer sur l'extrémité de la volée pour redresser complètement la hausse et achever la fermeture du barrage. Ces opérations, aussi simples en théorie que difficiles et dangereuses dans la pratique, s'exécutaient autrefois au moyen d'un bateau de manœuvre qui, s'appuyant sur la partie inférieure des hausses, ne pouvait naturellement être employé que quand le bief était sensiblement au-dessous de son niveau normal.

Pour échapper à cette sujétion et au danger que pouvait présenter dans ces conditions la manœuvre des grandes hausses dont l'emploi s'imposait de plus en plus, on eut recours aux fermettes de M. Poirée, non pour y placer des aiguilles, mais pour supporter le treuil de manœuvre et permettre au barragiste de régler à volonté les mouvements souvent imprévus du système.

Ce fut une amélioration considérable qui seule rendit possible l'emploi des hausses de grande hauteur, mais cette solution inspirée de l'Écriture, disait un esprit ingénieux qui prétendait y trouver la mise en action de la parabole de l'Aveugle et du Paralytique, est coûteuse et compliquée, car elle entraîne la construction de deux systèmes de fermeture, d'une importance et d'un prix à peu près équivalents, dont l'un ne sert qu'à manœuvrer l'autre.

Si d'ailleurs la construction d'une passerelle rendait la manœuvre plus facile, elle n'en faisait pas disparaître le danger, toujours imminent même sur les barrages construits avec le soin le plus éclairé et les précautions les plus minutieuses.

En dehors des accidents causés par la rupture d'un des organes, accidents qu'un entretien soigné peut rendre très rares sans cependant les supprimer complètement, les barragistes étaient trop souvent victimes d'autres accidents dus à l'échappement imprévu de l'arc-boutant. Soit que l'arc-boutant ne soit pas bien à sa place, ce qu'il est impossible de reconnaître; soit que la hausse se redressant brusquement, quand la pression de l'eau qui s'opposait à son mouvement au début vient l'accélérer par suite du déplacement du centre de pression, arrive en place avec vitesse en heurtant violemment le seuil; soit enfin que, pour la mettre en bascule, on la laisse tomber brusquement sur ses appuis, cet échappement de l'arc-boutant se produit fréquemment, et si par bonheur il n'a pas de conséquences graves pour un barragiste très attentif et très heureux, il impose toujours aux organes une fatigue exceptionnelle qu'il importe de leur éviter.

Cet inconvénient et ce danger ont été heureusement supprimés par

l'emploi d'un treuil différentiel imaginé par M. Maurice Lévy et disposé de telle façon que la hausse à manœuvrer ne puisse prendre un mouvement quelconque en dehors de la volonté du barragiste, même si l'arc-boutant venait à s'échapper. Sur les tambours de ce treuil dont les diamètres sont dans le même rapport que les longueurs de la volée et de la culasse, on enroule en sens inverse les chaînes qui y sont attachées et qui tiennent la hausse par ses deux extrémités, quelle que soit la position du centre de pression ou de l'arc-boutant. Cet appareil, qui diminue les difficultés et supprime les dangers du relevage, a été employé en 1868 sur les barrages de la haute Seine et de l'Yonne. Outre les avantages qui précèdent, il avait celui de rendre l'emploi de la barre à talons facultatif, car il fournit le moyen d'abattre une ou plusieurs hausses choisies à volonté, manœuvre délicate que la barre à talons ne permet pas de réaliser, puisqu'elle agit nécessairement sur toutes et dans un ordre invariable.

Depuis, M. Pasqueau a trouvé pour cette opération particulière une solution différente de celle de M. Maurice Lévy, et très élégante, qu'il a appliquée au grand barrage de la Mulatière près de Lyon, au confluent de la Saône et du Rhône. Cette solution repose sur l'emploi d'une glissière spéciale dite à deux crans ou à crémaillère, dans laquelle, en avant du heurtoir ordinaire (cran d'arrêt), contre lequel s'appuie l'arc-boutant de la hausse, on a placé un heurtoir additionnel (cran de départ), dont la face verticale forme un angle très aigu avec l'axe du couloir. Si on tire la hausse vers l'amont, l'arc-boutant, quittant le cran d'arrêt, vient bientôt tomber sur le cran de départ où, dès qu'on cesse la traction, il est dirigé vers le couloir par l'action du plan incliné formant la face verticale de ce cran. Les hausses sont ainsi absolument indépendantes les unes des autres, et on supprime la barre à talons, ce qui est une grande simplification et permet d'étendre à volonté la largeur de la passe (celle de la Mulatière a plus de cent mètres), mais ce qui enlève par contre la possibilité d'ouvrir instantanément le barrage malgré les glaces et les corps flottants.

Malgré les perfectionnements dont il a été l'objet, le système de M. Chanoine, dont la construction restera toujours délicate et la manœuvre difficile au moins dans les passes profondes, ne semble devoir être préféré à d'autres systèmes moins brillants, mais plus simples, que si les qualités qui ont fait son succès ont, dans les circonstances où l'on se trouve, assez d'importance pour faire passer sur les inconvénients, moins apparents, mais trop réels, que réserve la pratique. Au nombre de ces inconvénients il faut placer peut-être en première ligne le défaut absolu d'élasticité du système, qui ne se prête pas à un exhaussement, même très peu important, de la retenue sans une réfection complète des organes, car leurs dimensions relatives sont rigoureusement obligées et une modification qui paraît parfois insignifiante, peut avoir une influence capitale sur le fonctionnement. Depuis longtemps on a eu l'idée d'appliquer à la manœuvre des barrages la force motrice qu'ils créent et on y est parvenu plus ou

moins bien pour des passes de faible ouverture, à l'aide de dispositions intéressantes, mais qui n'ont plus guère qu'un intérêt historique. Pour des passes plus longues, on a songé d'abord à utiliser la chute d'une façon indirecte (au moins pour l'abatage), en s'en servant pour faire tourner une roue hydraulique qui commande la barre à talons des barrages Thénard transformés par M. Chanoine. C'est à cet ordre d'idées que se rattache le système beaucoup plus parfait que MM. Girard et Callon ont appliqué au barrage de l'Ile Brûlée près d'Auxerre, dans lequel les vannes qui soutiennent la retenue sont manœuvrées par des presses hydrauliques actionnées par une usine qui emprunte sa force motrice à la chute du barrage. Bien avant eux, M. Desfontaines avait abordé ce difficile problème dans toute son ampleur et l'avait résolu d'une façon aussi simple qu'élégante sans le secours d'organes mécaniques accessoires, toujours plus ou moins compliqués.

Le barrage Desfontaines, considéré au point de vue purement mécanique, constitue en effet une machine tout à fait rudimentaire.

La partie supérieure de la vanne ou *hausse* qui subit la *résistance*, — c'est elle qui soutient la retenue, — fait corps avec la partie inférieure ou *contre-hausse* à laquelle est appliquée la *puissance*, et comme ces deux forces décrivent des chemins égaux autour d'un axe horizontal placé au milieu de la vanne, il suffit qu'elles soient théoriquement égales pour que le travail moteur soit aussi égal au travail résistant.

Ce qui fait l'intérêt du système de M. Desfontaines et ce qui en assure le succès, c'est l'idée qu'il a eue de rendre les contre-hausses indépendantes les unes des autres en les séparant par des diaphragmes. Chaque contre-hausse décrit ainsi un quart de cercle dans une cavité cylindrique ménagée dans le radier, fermée à sa partie supérieure par une plaque de recouvrement, latéralement par les diaphragmes et à laquelle on a donné le nom de *tambour*. Dans les diaphragmes, il a ménagé au droit des espaces extrêmes que n'atteint pas la contre-hausse, deux orifices placés l'un à l'amont, l'autre à l'aval, et le couloir formé par la succession de ces orifices peut être mis à volonté, au moyen d'une vanne, en communication avec le bief d'amont ou le bief d'aval, ce qui suffit, comme on le comprend immédiatement, à déterminer le mouvement du système en modifiant le sens et l'importance des pressions qu'il supporte. Les manœuvres s'exécutent en quelques minutes, sans secousse et sans effort, et c'est un spectacle vraiment imposant que de voir un barrage de plus de 50 mètres de longueur se coucher doucement sous l'action du courant pour se relever ensuite avec la même facilité, en barrant la rivière dont il arrête immédiatement le cours; la grandeur du résultat frappe d'autant plus l'attention qu'on n'a eu recours pour l'obtenir qu'à des procédés d'une extrême simplicité. Si parfaite que soit cette manœuvre, elle a un inconvénient : elle doit nécessairement être complète, car les positions intermédiaires que peut obtenir un barragiste habile en réglant convenablement le débit des con-

duites ne sont pas stables et ne peuvent avoir qu'une durée limitée. Chercher à maintenir un barrage Desfontaines partiellement fermé par cet artifice serait aussi chimérique que d'espérer garder gonflé un ballon dont l'enveloppe serait légèrement déchirée. Cette difficulté n'avait pas échappé à M. Desfontaines, et pour y parer il a muni ses hausses de béquilles qui, s'appuyant sur une ou plusieurs *barres à coches*, maintiennent les hausses sous une inclinaison déterminée. L'appareil, plus simple et plus sûr que la barre à talons, dont il dérive, offre cependant encore quelques inconvénients et n'assure que médiocrement la manœuvre partielle du barrage. Cette difficulté a été résolue par M. Maurice Lévy d'une façon extrêmement simple, qui consiste à remplacer les deux couloirs dont nous avons parlé par des tuyaux qui répartissent à volonté le jeu des pressions sur un nombre quelconque d'éléments par une simple manœuvre de robinets. Grâce à une combinaison ingénieuse fondée sur les propriétés bien connues de la série binaire, il suffit de 5 ou 6 tuyaux pour actionner un nombre quelconque d'éléments dans un barrage qui en comprend 31 ou 63.

Les barrages établis sur la Marne par M. Desfontaines, et dont une expérience de plus de vingt années a permis d'éprouver les qualités si remarquables, fournissent la solution parfaite du difficile problème qui consiste à maîtriser de la rive une chute d'eau quelle qu'en soit la largeur, et aucun système ne peut être comparé à cette admirable invention dans les conditions où son auteur l'a appliquée, c'est-à-dire pour la fermeture de grands déversoirs surmontés d'une lame d'eau de faible hauteur.

Simples, étanches, livrant aisément passage aux corps flottants qui ne font qu'incliner momentanément les vannes sans les briser, absolument sûrs, puisque leur manœuvre, qui ne demande que quelques minutes et n'exige aucun effort, peut être vérifiée aussi souvent qu'on le désire, se prêtant facilement à un exhaussement notable de la retenue comme l'a réalisé M. Guillemain avec de petites vannes additionnelles, ces appareils n'ont qu'un défaut, grave il est vrai : ils ne s'appliquent pas, au moins sous leur forme actuelle, à la création de grandes retenues.

MM. Krantz, Cuvinot, Maurice Lévy ont cherché, du reste, à remédier à ce défaut, mais les systèmes qu'ils ont proposés n'ont pas reçu la consécration de l'expérience, et nous nous bornerons à exprimer le regret qu'on n'en ait pas tenté l'application.

En Allemagne, au contraire, on n'a pas hésité à employer ces appareils dans des retenues très élevées. Bien que ces essais aient été entrepris et menés à bien dans des conditions qui rendaient le succès relativement facile, ils ont le mérite de montrer que l'idée féconde de M. Desfontaines peut rendre de nouveaux services dans des conditions qu'on n'avait pas osé aborder ; ils présentent à ce point de vue un si grand intérêt que nous croyons devoir sortir des limites que nous nous sommes tracées en ne citant que des travaux exécutés en France pour décrire au moins sommairement cette intéressante application.

Les vannes employées en Allemagne sont en général du type adopté par M. Desfontaines ou n'en diffèrent que par des modifications très peu importantes, mais tandis qu'il les avait appliquées à la fermeture de grandes passes d'assez faible hauteur, les ingénieurs allemands s'en sont servis pour fermer des passes profondes mais de largeur restreinte. Ces passes sont, en général, des pertuis de flottage ménagés dans un barrage d'un autre système et qu'on arrive ainsi à manœuvrer plus rapidement et plus facilement que par n'importe quel autre moyen.

Il faut remarquer que dans ces conditions le problème est beaucoup plus simple, puisqu'on dispose de la retenue créée par le barrage adjacent pour manœuvrer une *seule* hausse placée entre bajoyers verticaux dans un canal de faible largeur, mais les résultats obtenus sur le Mein et surtout au barrage de Charlottenbourg sur la Sprée méritent par leur importance d'attirer et de retenir l'attention.

A ce dernier barrage, M. Mohr est arrivé, en effet, à fermer avec une seule vanne un pertuis de 10 mètres de largeur soutenant une retenue de 2 m. 80 sur le seuil, la largeur de la vanne a été dépassée depuis, mais on n'a jamais, croyons-nous, abordé pareille hauteur, et il est douteux qu'on puisse aller beaucoup plus loin dans cette voie.

Ce succès remarquable montre que l'invention trop peu connue de M. Desfontaines se prête à toutes les applications, pourvu qu'on en sache approprier les dispositions aux besoins particuliers qu'on doit satisfaire.

Ces besoins ont subi depuis quelques années une transformation complète et leur développement considérable a entraîné la création de chutes beaucoup plus accentuées et, par une conséquence nécessaire, l'augmentation du mouillage qui nécessite un accroissement correspondant de la profondeur des passes navigables.

Des exemples récents ont montré que les anciens systèmes convenablement modifiés satisfont parfaitement à ces nécessités nouvelles que leurs inventeurs n'avaient pu ni prévoir ni soupçonner; il faut cependant reconnaître qu'une retenue de 5 m. 18 comme celle qu'on a réalisée à Suresnes touche de bien près à la limite qu'il ne serait ni facile ni prudent de dépasser avec ces appareils.

Sur des fleuves comme le Rhône, où les galets ne tarderaient pas à remplir les refouillements qu'il faut ménager dans les radiers pour y loger les fermettes ou les vannes, la manœuvre de ces engins, un peu inquiétante quand ils sont noyés sous 5 mètres d'eau, n'offrirait plus aucune sécurité, et on a été conduit à remplacer les fermettes par des poutres en fer qui ne prennent plus sur le radier qu'un simple point d'appui et sont fixées par des charnières à un pont supérieur.

Cette idée, due à M. Tavernier, est devenue très féconde entre les mains de M. Caméré, qui l'a appliquée à la construction des grands barrages de la basse Seine, avec d'importants perfectionnements au nombre desquels il faut compter en première ligne l'emploi des rideaux qu'il a imaginés.

Le plus remarquable de ces barrages est certainement celui de Poses, qui supporte une retenue d'eau plus forte encore que celui de Suresnes (5 m. 35 au lieu de 5 m. 18); il se compose de sept passes de profondeur variable et d'environ 30 mètres d'ouverture, comprises entre des piles de 4 mètres d'épaisseur qui supportent un tablier métallique, établi assez haut pour laisser au-dessous des montants relevés un écoulement facile aux eaux de crue et, dans les passes navigables, une hauteur libre de 5 m. 25 au-dessus des plus hautes eaux de navigation. C'est à ce tablier que sont suspendus par une articulation des cadres formés de quatre montants verticaux entre-croisés, dont le pied vient buter contre des bornes isolées scellées dans le radier, de sorte qu'après son ouverture, le barrage dont aucun organe n'est noyé, ne gêne pas plus l'écoulement des eaux qu'un pont offrant les mêmes dimensions. Le relèvement des cadres se fait normalement de l'aval vers l'amont, mais une disposition très simple analogue à celle des aiguilles à crochets permet de parer à l'impossibilité éventuelle de ce relèvement contre le courant dans le cas où des corps flottants viendraient encombrer inopinément la passe; les articulations sont placées dans des glissières verticales; on peut alors les soulever d'une hauteur suffisante pour que les cadres échappent les heurtoirs sur lesquels s'appuient leurs pieds : l'action du courant les incline alors vers l'aval, où il est possible de les relever.

Sur ces cadres on déroule, pour fermer le barrage, des stores dont la largeur dépasse un peu celle des cadres qui leur servent d'appui. Ces stores se manœuvrent au moyen d'un treuil circulant sur une passerelle de service établie à l'aval des montants, ils laissent les eaux se déverser au-dessus de la retenue et permettent d'ouvrir suivant les besoins un débouché au débit de la rivière, soit isolément, soit simultanément par le bas et par le haut : ils se prêtent donc parfaitement à tous les besoins et à toutes les manœuvres.

Sans qu'il soit nécessaire d'insister sur les détails très intéressants mais assez compliqués de la construction et de la manœuvre de ce système de barrages, on voit qu'il résout complètement le problème de la création des retenues très importantes auxquelles il semble particulièrement réservé en raison des dépenses considérables qu'entraînent nécessairement son établissement et l'entretien des engins et du personnel indispensables aux manœuvres, mais que justifie alors l'importance des résultats obtenus.

La création de ce type, qui permet de faire face aux exigences et aux sujétions les plus étendues que l'on puisse rencontrer dans la pratique, complète donc, de la façon la plus heureuse, la série des barrages mobiles éprouvés par l'expérience dont les ingénieurs disposent pour canaliser les rivières et entre lesquels il leur reste seulement à faire un choix.

Ce choix souvent délicat, car les appareils que l'on construit aujourd'hui ont des perfectionnements qui répondent à peu près à toutes les nécessités, est rendu plus facile, quand des convenances locales ou les ressources dont

on dispose ne le déterminent pas immédiatement; par la division nécessaire de tout barrage mobile en un certain nombre de passes d'inégale profondeur qu'il serait souvent peu rationnel de fermer par des appareils du même type, car dans chacune de ces passes on recherche en général des qualités différentes appropriées aux besoins bien distincts en vue desquels elles ont été établies.

Une passe profonde ou pertuis, dans laquelle la navigation peut s'effectuer librement pendant la période, en général assez courte, avec les retenues actuelles, où la rivière, dont le débit croissant oblige à ouvrir complètement le barrage, n'a pas encore commencé à déborder, est indispensable pour assurer convenablement l'écoulement des eaux. Ces passes profondes ne se manœuvrant que rarement, soit pendant les crues, soit quand on a besoin de mettre la rivière en chômage, il serait peu rationnel d'y consacrer des engins mécaniques perfectionnés qui exigent un entretien soigné et pourraient se trouver en défaut aux rares moments où l'on en a besoin et où l'on doit pouvoir compter absolument sur leur fonctionnement. Des engins simples, robustes, rustiques comme les fermettes soutenant des aiguilles à crochets, ou de petites vannes glissantes si la retenue est trop élevée, semblent bien appropriées à la fermeture de ces passes; le seul inconvénient qu'elles présentent, l'obstacle qu'elles opposent au passage des glaçons et des corps flottants, disparaît si l'on dispose d'une passe haute ou déversoir dont les engins facilement maniables sont précieux pour régler la retenue et assurer l'écoulement des crues peu importantes.

C'est à la fermeture de ces passes hautes que l'on peut appliquer avec avantage soit le système de M. Chanoine, soit de préférence celui de M. Desfontaines, qui se manœuvre plus sûrement et plus rapidement encore, si l'on a eu soin d'y adapter les conduites de M. Maurice Lévy ou toute autre disposition équivalente permettant la manœuvre individuelle des hausses, manœuvre indispensable pour que ce système puisse assurer la tenue constante des biefs.

Cette combinaison des différents systèmes répond, croyons-nous, aux nécessités de la pratique ordinaire; elle peut être variée suivant les circonstances, et si celles-ci sont exceptionnelles, les barrages de la basse Seine fournissent également des moyens exceptionnels auxquels il sera avantageux de recourir.

Grâce à l'invention des barrages mobiles et aux perfectionnements qu'elle a reçus dans ces dernières années, la canalisation des rivières ne comporte plus d'autre incertitude que celle inhérente à toutes les entreprises, la difficulté de proportionner l'effort au résultat et la dépense à l'utilité.

Meaux, 25 mai 1889.

DES MEILLEURS

MODES DE LOCOMOTION DES BATEAUX

SUR LES CANAUX ET LES RIVIÈRES CANALISÉES ASSIMILABLES AUX CANAUX

PAR

M. DEROME
Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Compiègne.

DES MEILLEURS

MODES DE LOCOMOTION DES BATEAUX

SUR LES CANAUX ET LES RIVIÈRES CANALISÉES ASSIMILABLES AUX CANAUX

RAPPORT

DE

M. DEROME

Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Compiègne.

Exposé. — Le présent rapport a pour objet la question de la locomotion des bateaux sur les canaux et sur les rivières canalisées qui peuvent être assimilées aux canaux en raison de leur régime et des conditions de navigabilité qu'elles présentent.

Les systèmes de locomotion communément employés sont de deux sortes :

1° Le halage par des hommes ou par des bêtes de trait ;

2° La propulsion ou la traction par des machines à vapeur[1].

Halage à bras d'homme. — Le halage à bras d'homme est peu usité sur les canaux de la région du Nord et de l'Est où circulent surtout des péniches de 250 à 300 tonnes de jauge.

Ce mode de traction est au contraire très pratiqué sur les canaux de la région du Centre, qui sont généralement fréquentés par de grands bateaux de 120 à 160 tonnes ainsi que par de petits bateaux, dits berrichons, d'environ 60 tonnes.

Ces bateaux traînés par deux hommes parcourent en moyenne, les premiers de 10 à 15 kilomètres, les seconds de 18 à 25 kilomètres par jour, selon l'espacement des écluses.

1. La navigation à la voile, au fil de l'eau et à la dérive, la marche à l'aviron et à la gaffe ne sont guère usitées sur les canaux que pour de faibles parcours, ou n'y sont pratiquées qu'accidentellement comme auxiliaires du halage.

Le prix de ce mode de locomotion varie de 5 à 7 millimes par tonne kilométrique.

Halage mixte. — Le halage à bras effectué dans ces conditions constitue un travail extrêmement pénible, malgré les repos que le passage des écluses procure aux haleurs à d'assez courts intervalles.

Les bateliers y substituent progressivement un système mixte dans lequel la traction est effectuée par un homme de l'équipage concurremment avec un âne ou un mulet logé à bord[1].

Les frais de halage restent sensiblement les mêmes, mais le parcours journalier se trouve augmenté de 2 ou 3 kilomètres.

Ce système mixte paraît surtout avantageux pour les berrichons; il leur permet de lutter contre les grands bateaux, non seulement sur les voies navigables qui communiquent avec le canal du Berry, mais encore sur les rivières du bassin de la Seine[2].

Halage par chevaux. — Le halage par chevaux est appliqué d'une manière générale sur les canaux de la région du Nord et de l'Est de la France, sauf sur quelques points où l'on a dû recourir au touage à vapeur en raison de circonstances exceptionnelles.

Les bateaux chargés sont d'ordinaire halés isolément; on accouple assez fréquemment deux bateaux vides à la suite l'un de l'autre.

Les chevaux sont communément répartis par *courbes*, c'est-à-dire réunis deux à deux sous la conduite d'un charretier.

Une seule courbe suffit en général pour la traction d'un bateau chargé ou de deux bateaux vides accouplés.

Les bateaux parcourent, dans ces conditions, de 15 à 30 kilomètres par jour, selon leur enfoncement et le temps qu'ils perdent aux écluses.

Les chevaux de halage se divisent en trois catégories :

Les uns appartiennent aux bateliers et sont logés à bord;

D'autres sont au service de haleurs *aux longs jours* et font avec le même bateau un certain nombre d'étapes;

D'autres enfin sont groupés en relais organisés, soit par l'État ou ses ayants droit, soit par des entrepreneurs de transport.

Chevaux logés à bord. — Les bateliers qui ont une écurie à bord et se font haler par leurs propres chevaux sont relativement peu nombreux; ils

1. Le recensement général de la batellerie opéré le 15 octobre 1887 a constaté :

1° Sur le canal du Centre, le canal latéral à la Loire et le canal de Roanne à Digoin, 1153 bateaux, dont 524 munis d'écuries renfermant 609 ânes ou mulets et 40 chevaux;

2° Sur le canal du Berry, 527 bateaux, dont 505 munis d'écuries abritant 547 ânes ou mulets et 7 chevaux.

2. *Encyclopédie des travaux publics. — Rivières et canaux*, par M. Guillemain, inspecteur général, professeur à l'École des Ponts et chaussées. Tome Ier, p. 38.

fréquentent surtout les canaux de l'Est et évitent les voies navigables du Nord pourvues de services de traction obligatoires[1].

Ce mode de halage est rarement avantageux en raison des nombreux arrêts que subissent les bateaux par le fait des chômages annuels, des crues et des glaces, ainsi que des délais d'embarquement et de débarquement des marchandises.

Halage sans relais, dit aux longs jours. — Les haleurs aux longs jours sont, pour la majeure partie, des cultivateurs habitant les localités voisines des voies navigables, qui utilisent leurs chevaux à traîner les bateaux aux époques où ils ne peuvent les employer aux travaux des champs; ils abandonnent le halage dès qu'arrive le temps des labours, des ensemencements ou des récoltes.

Les bateliers restent alors à la merci des haleurs de profession, qui ne disposent en général que d'un nombre de chevaux insuffisant.

Les prix du halage aux longs jours subissent par suite d'énormes variations, suivant les saisons et l'activité des transports.

Ils oscillent d'ordinaire entre 0 fr. 50 et 1 fr. 50, et s'élèvent moyennement à 1 fr. 25 environ, soit 0 fr. 005 par tonne kilométrique pour un bateau de 250 tonnes.

Halage par relais. — Il existe des relais pour le halage par chevaux sur l'Oise canalisée et le canal latéral à cette rivière, la Sambre canalisée et le canal de la Sambre à l'Oise, le canal Saint-Denis, l'Escaut et le canal de Saint-Quentin, le canal de la Sensée, la Scarpe moyenne et la partie du canal de la Deûle voisine de Douai.

Relais de l'Oise et du canal latéral. — Les relais de l'Oise et du canal latéral s'étendent de Chauny à Conflans Sainte-Honorine, sur une longueur de 138 kilomètres; ils ont été établis en 1875 par les sieurs Pavot frères.

Ces relais, au nombre de treize, sont situés à proximité des écluses ainsi qu'aux points extrêmes du parcours.

Les sieurs Pavot se sont assuré une clientèle régulière, malgré la concurrence des haleurs aux longs jours, à l'aide de contrats par lesquels les bateliers s'engagent à se servir exclusivement de leurs chevaux moyennant un tarif déterminé.

Ces contrats ont une durée normale de 3 à 5 ans; ils n'imposent aux relayeurs aucun délai pour le trajet non plus que pour la fourniture des chevaux.

1. Il a été recensé au mois d'octobre 1887, sur les voies navigables de la région du Nord et de l'Est, 7129 bateaux, dont 448 seulement étaient munis d'écuries abritant 849 chevaux.

Parmi ces derniers bateaux, 371 se trouvaient sur le canal de l'Est ou sur le canal de la Marne au Rhin.

Les prix stipulés sont en général par courbe et par kilomètre :

Sur la rivière : à la descente, de 0 fr. 65 ; — à la remonte, de 0 fr. 70 ;

Sur le canal : à la descente, de 0 fr. 75 ; — à la remonte, de 0 fr. 80 à 0 fr. 90, selon l'enfoncement des bateaux.

Ces derniers prix correspondent à une taxe de 0 fr. 0030 à 0 fr. 0036 par tonne kilométrique pour un chargement de 250 tonnes.

Les contrats actuellement en vigueur s'appliquent environ aux deux tiers des bateaux qui fréquentent l'Oise et le canal latéral[1].

Sambre canalisée et canal de la Sambre à l'Oise. — Le service de relais établi sur la Sambre canalisée et le canal de la Sambre à l'Oise fonctionne entre la frontière belge et la Fère sur un parcours de 121 kilomètres; il est exploité partie en régie, partie à la tâche par les sociétés concessionnaires de ces deux voies navigables.

Ces sociétés opèrent gratuitement le halage des bateaux moyennant les taxes qu'elles perçoivent en vertu de l'ordonnance de concession.

Les dépenses qui leur incombent de ce chef sont les suivantes, d'après la moyenne des dix dernières années.

	SAMBRE CANALISÉE. RELAIS EN RÉGIE.		CANAL DE LA SAMBRE A L'OISE.		
	Descente.	Remonte.	Relais à la tâche.	Relais en régie.	Moyennes.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Frais de traction d'un bateau vide.	0,201	0,403	0,335	0,271	0,303
Id. d'un bateau chargé. . .	0,805	1,208	1,105	0,928	1,017
Id. d'une tonne kilométrique.	0,0045	0,0053	0,0050	0,0042	0,0046

Ces chiffres correspondent à un trafic moyen ramené au parcours total de 495 227 tonnes pour la Sambre canalisée et de 477 967 tonnes pour le canal de la Sambre à l'Oise.

Ils seraient sans doute notablement moins élevés si la navigation n'avait été interrompue sur la Sambre par les crues, les glaces et les chômages durant 112 jours, année moyenne, et arrêtée pendant le même temps sur le canal de la Sambre à l'Oise, dans la direction de la Belgique vers Paris, par suite de cette interruption.

Canal Saint-Denis. — Le service de halage du canal Saint-Denis a été organisé par la ville de Paris, concessionnaire de cette voie navigable, et confié par elle à un entrepreneur.

1. Il est passé en 1888, à l'écluse de Chauny, 5789 bateaux vides et 12 908 bateaux chargés de 3 149 358 tonnes de marchandises.

Ce service s'étend de la Briche au port de la Villette sur un parcours de 6500 mètres comprenant 12 écluses.

Les taxes perçues de jour pour la remonte à charge et la descente à vide ou vice versâ varient de 18 à 54 francs selon la largeur et le chargement des bateaux[1].

Escaut et canal de Saint-Quentin. Historique de l'organisation du halage. — Les relais de l'Escaut, du canal de Saint-Quentin et des autres voies navigables du Nord dépendent d'un service régulier établi par l'État en vertu d'un décret du 19 juin 1875.

Les premiers essais tentés dans la région pour l'organisation du halage ont eu lieu vers 1840 sur le canal de Saint-Quentin.

Des relais ont été institués entre Cambrai et Chauny, sur un parcours de 93 kilomètres, par un arrêté préfectoral du 25 février 1842.

Ces relais étaient desservis par des haleurs locaux, enrôlés à cet effet aux prix et conditions d'un tarif arrêté par le préfet.

Ils ont fonctionné pendant six ans à la satisfaction de tous, puis ont disparu lors de la révolution de 1848.

L'administration les a rétablis sept ans plus tard, sur les vœux réitérés des Conseils généraux et des Chambres de commerce.

Elle a ensuite étendu le même système à l'Escaut, à l'Oise canalisée et au canal latéral à cette rivière.

D'après un règlement du 1er juin 1855, les tarifs étaient préparés chaque année par les ingénieurs, soumis à une enquête de dix jours dans chaque arrondissement, puis arrêtés par le préfet et publiés dans la seconde quinzaine d'octobre.

Les concurrents étaient tenus de se faire inscrire dans le courant de novembre.

Les ingénieurs dressaient la liste des haleurs agréés et les mettaient à l'œuvre le 1er janvier, après leur avoir fait élire des chefs relayeurs chargés de la surveillance du service.

Les haleurs agréés étaient tenus de fournir des chevaux aux mariniers à toute réquisition suivant leur tour de rôle, soit de jour, soit de nuit, ils devaient en outre traîner les bateaux à la vitesse déterminée par le règlement.

Le service ainsi organisé était facultatif pour les bateaux vides et obligatoire pour tous les bateaux chargés, à l'exception des bateaux à vapeur et de ceux qui justifiaient, pour un an au moins, de la disposition de relais particuliers établis sur toute l'étendue de la ligne.

Cette nouvelle organisation a fonctionné pendant quatre ans d'une manière satisfaisante, mais non sans donner lieu à de vives et bruyantes réclamations de la part de charretiers exclus des relais pour inconduite

1. Le tonnage moyen du canal Saint-Denis a été en 1887 de 1 413 365 tonnes.

et de bateliers à gages dont elle permettait de vérifier trop facilement les comptes.

L'administration y a mis un terme en proclamant la liberté illimitée du halage à la date du 1er septembre 1860, malgré l'avis de toutes les Chambres de commerce de la région.

Elle comptait sur l'initiative des intéressés pour améliorer les moyens de traction et régulariser la marche des bateaux.

Mais les quelques tentatives faites dans ce but sont restées infructueuses et les bateliers se sont bientôt trouvés à la discrétion des haleurs, qui en ont profité pour entraver leur marche et leur imposer des taxes exorbitantes à la faveur d'encombrements de longue durée.

La situation est devenue intolérable après la guerre de 1870, et l'administration a enfin reconnu, à la suite d'enquêtes multipliées, que la liberté illimitée du halage devait entraîner forcément et fatalement la ruine de la navigation sur la ligne de la Belgique vers Paris.

Organisation de 1875. — Elle a dès lors organisé un nouveau service de traction par chevaux sur l'Escaut, le canal de Saint-Quentin et diverses autres voies navigables du Nord, aux conditions du décret précité du 19 juin 1875[1].

La section de Condé à Chauny est divisée, pour ce service, en lots de 12 à 18 kilomètres de longueur[2].

L'exploitation de chacun de ces lots est concédée pour six ans à un entrepreneur par voie d'adjudication publique.

Le halage ainsi organisé est obligatoire pour tous les bateaux chargés tant à la remonte qu'à la descente, à l'exception des bateaux mus ou remorqués par la vapeur; il est facultatif pour les bateaux vides.

L'Administration conserve le droit de concéder tout autre mode de halage qui n'admettrait pas les chevaux comme moyen de traction; mais aucun essai de cette nature n'a été tenté jusqu'à ce jour; d'autre part, les mariniers n'usent qu'exceptionnellement et pour de faibles parcours de la faculté que leur accorde le règlement de police de faire haler leurs bateaux vides par des hommes de l'équipage.

Les entrepreneurs du halage par chevaux jouissent par suite, en fait, du monopole absolu de la traction des bateaux, à l'exception de ceux à vapeur.

Ces entrepreneurs sont tenus de haler les bateaux sans aucun retard, avec une vitesse de 2 kilomètres à l'heure.

Ils sont également tenus d'y atteler à l'entrée et à la sortie des écluses des chevaux de renfort en nombre suffisant pour accélérer autant que possible cette double opération.

1. Ce service n'a pas été étendu à la section de Chauny à Conflans, parce qu'un service de touage sur chaîne noyée venait d'être concédé sur cette section par décret du 12 avril 1875, à la suite d'une adjudication publique.

2. Ces lots ne comprennent pas le bief de partage du canal de Saint-Quentin, où fonctionne depuis 1868 un service de touage à vapeur.

Les taxes de halage sont réglées par tonne et par kilomètre d'après les prix du tarif déterminé par l'adjudication.

Les bateaux vides payent à raison de leur jauge possible à l'enfoncement de 1^{m},80.

Les bateaux chargés payent en outre une surtaxe proportionnelle à leur chargement effectif.

Les taxes de halage actuellement perçues sont les suivantes.

DÉSIGNATION DES RELAIS.	TAXES DE HALAGE					
	A LA REMONTE par kilomètre et par tonne			A LA DESCENTE par kilomètre et par tonne		
	de jauge possible.	de chargement effectif.	Total applicab^{le} aux bateaux à pleine charge.	de jauge possible.	de chargement effectif.	Total applicab^{le} aux bateaux à pleine charge.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Moyen Escaut, de Condé à Etrun (36 kilomètres répartis en 3 lots)	0,00219	0,00365	0,00584	0,00146	0,00219	0,00365
Haut Escaut, d'Etrun à Cambrai (12 kilomètres en un seul lot)	0,00144	0,00240	0,00384	0,00096	0,00144	0,00240
Canal de Saint-Quentin, de Cambrai au bief de partage (26 kilomètres en 2 lots)	0,00133	0,00265	0,00398	0,00125	0,00187	0,00312
Canal de Saint-Quentin, du bief de partage à Chauny (48 kilomètres en 3 lots)	0,00117	0,00235	0,00352	0,00117	0,00176	0,00293

Ces taxes, appliquées à un bateau de 270 tonnes de jauge, donnent pour le prix du halage par kilomètre les chiffres ci-après.

	REMONTE		DESCENTE	
	à vide.	à charge complète.	à vide.	à charge complète.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Moyen Escaut	0,591	1,577	0,394	0,985
Haut Escaut	0,389	1,037	0,259	0,648
Canal de Saint-Quentin. Versant de l'Escaut	0,359	1,075	0,337	0,842
Canal de Saint-Quentin. Versant de la Somme et de l'Oise	0,316	0,950	0,316	0,791

Les taxes ci-dessus concernent le service de jour; elles sont augmentées d'un tiers pour le service de nuit, lorsqu'il n'a pas été rendu obligatoire.

Les relais organisés d'après les bases qui précèdent ont desservi, en 1888, dans des conditions satisfaisantes à tous égards un trafic moyen de 3 178 212 tonnes entre Étrun et Cambrai, et de 3 028 215 tonnes entre Cambrai et Chauny.

Canal de la Sensée. Scarpe moyenne. Canal de la Deûle. — Le service de halage établi sur le canal de la Sensée, la Scarpe moyenne et la première section du canal de la Deûle fonctionne dans les mêmes conditions que celui de l'Escaut et du canal de Saint-Quentin[1].

Les taxes perçues sont les suivantes.

	TAXES DE HALAGE					
	A LA REMONTE par kilomètre et par tonne			A LA DESCENDE par kilomètre et par tonne		
	de jauge possible.	de chargement effectif.	Total applicab^le aux bateaux à pleine charge.	de jauge possible.	de chargement effectif.	Total applicab^le aux bateaux à pleine charge.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Canal de la Sensée, d'Etrun au pont d'Aubigny (1 lot de 12 kilomètres)	0,00094	0,00282	0,00376	0,00094	0,00235	0,00329
Canal de la Sensée et Scarpe moyenne, du pont d'Aubigny à l'écluse de Lambres (1 lot de 15 kilomètres)	00,0078	0,00234	0,00312	0,00078	0,00195	0,00273
Canal de la Deûle, du fort de Scarpe à la borne 3 (1 lot de 3 kilomètres)	0,00124	0,00372	0,00496	0,00124	0,00186	0,00310

Ces taxes donnent pour le halage d'un bateau de 270 tonnes de jauge les prix kilométriques ci-après.

	REMONTE		DESCENTE	
	à vide.	à charge complète.	à vide.	à charge complète.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Canal de la Sensée (1re section)	0,254	1,015	0,254	0,888
Canal de la Sensée et Scarpe moyenne	0,211	0,842	0,211	0,737
Canal de la Deûle	0,335	1,339	0,335	0,837

1. Le canal de la Sensée a desservi en 1887 un tonnage moyen de 1 990 058 tonnes.

Propulsion par la vapeur. Bateaux porteurs. — Le recensement du 15 octobre 1887 a constaté en France sur les fleuves, rivières et canaux, 120 porteurs à vapeur d'une force totale de 13 695 chevaux.

Ces bateaux ont transporté en 1887, à une distance moyenne de 246 kilomètres, 602 937 tonnes de marchandises, dont 462 661 tonnes sur les rivières et 140 276 tonnes seulement sur les canaux.

Leur chargement moyen ne paraît pas avoir atteint 100 tonnes ; il consiste surtout en épiceries, denrées alimentaires, vins, huiles et produits industriels.

Les principales lignes de navigation que desservent les porteurs sont celles de Paris à Rouen et au Havre, — de Paris à Lille et à Valenciennes, — de Paris à Nancy par la Marne, — de Paris à Bar-le-Duc par l'Oise et l'Aisne, — de Saint-Jean de Losne à Lyon.

Les porteurs marchent en général sur la Seine avec une vitesse moyenne de 7 à 12 kilomètres à l'heure.

Leur vitesse sur les canaux ne dépasse pas 6 kilomètres ; elle est réduite à 2 kilomètres au passage des ponts ainsi qu'à la rencontre d'autres bateaux.

Les prix de transport par bateaux à vapeur sont très variables : on paye en général de Paris à Lille 80 centimes par quintal de marchandises non encombrantes pour une distance de 370 kilomètres; cette distance est habituellement franchie en six ou sept jours.

Traction par la vapeur. Remorquage. — Il a été recensé en France, au mois d'octobre 1887, 184 remorqueurs à vapeur dont 170[1] sur les fleuves et rivières et 14 seulement sur les canaux.

Un de ces derniers était hors d'état de naviguer; six autres desservaient des voies navigables peu fréquentées ou ne fonctionnaient qu'exceptionnellement.

Les sept remorqueurs restants étaient répartis comme il suit :

Sur le canal du Havre à Tancarville.	1
Sur le canal latéral à la Marne	1
Sur les canaux de la Ville de Paris.	5

Il ressort de cette statistique que le remorquage à vapeur est peu pratiqué sur les canaux français.

Un service régulier de traction avait été établi en 1882 sur le canal latéral à l'Oise à l'aide de quatre remorqueurs de la force de 60 à 70 chevaux-vapeur. Mais ce service a dû être interrompu au bout de six mois, en raison des sacrifices considérables qu'imposait à l'entrepreneur la concurrence des relais des sieurs Pavot.

1. Y compris 18 remorqueurs recensés sur la Meuse et portés à la branche nord du canal de l'Est.

Touage. — Il existe en France sur les canaux et les rivières canalisées assimilables aux canaux huit services de touage à vapeur sur chaîne noyée[1] qui desservent respectivement, savoir :

1° Le bief de partage du canal de Bourgogne (longueur 6100 mètres dont 3330 en souterrain);

2° Le bief de partage du canal de la Marne au Rhin (longueur 7300 mètres dont 4877 mètres en souterrain. — Trafic desservi en 1887 : 724 058 tonnes);

3° Le bief de partage du canal de Saint-Quentin (longueur 20 400 mètres dont 6768 mètres en souterrain. — Trafic desservi en 1888 : 3 099 953 tonnes);

4° Le quatrième bief du canal Saint-Martin (longueur 2650 mètres dont 1850 mètres en souterrain);

5° Le souterrain de Ham sur le canal de l'Est (longueur 565 mètres. — Trafic desservi en 1887 : 516 443 tonnes);

6° La Scarpe moyenne en aval de l'écluse des Augustins à Douai (longueur 3200 mètres. — Trafic desservi en 1888 : 1 877 881 tonnes);

7° La Scarpe moyenne en amont de l'écluse des Augustins (longueur 1800 mètres. — Trafic desservi en 1888 : 1 869 800 tonnes);

8° Le canal de la Deûle entre la borne 3 près Douai et Pont-à-Vendin (longueur 18 000 mètres. — Trafic desservi en 1888 : 592 986 tonnes).

Les services n°s 1 à 6 desservent des passages étroits où la navigation présente des difficultés exceptionnelles; ils sont obligatoires pour tous les bateaux, hormis ceux à vapeur.

Les deux derniers sont des services libres autorisés aux conditions habituelles.

Les divers services obligatoires procurent de grands avantages à la batellerie qu'ils exonèrent de lourdes charges tout en lui assurant une marche régulière et suffisamment rapide.

Le service de la Scarpe moyenne a augmenté dans une forte proportion la capacité de fréquentation de cette rivière que l'on croyait atteinte.

Celui du canal de Saint-Quentin donne à tous égards des résultats du plus haut intérêt.

Le bief de partage de ce canal offre, sur un parcours de 20 kilomètres, deux souterrains dont l'un de 5670 mètres et l'autre de 1098 mètres, de part et d'autre desquels s'échelonne une série de passages étroits séparés par des sections à double voie et qui offrent un développement total de 4572 mètres. Le tracé en est d'ailleurs assez sinueux; les rayons des courbes varient en général de 200 à 300 mètres et descendent sur quelques points à 175 mètres.

Le service est exploité en régie par l'État à l'aide de trois toueurs dont

1. Non compris le service du bassin de la Villette, à Paris.

un de rechange. Ces toueurs, avec tambours à gorges, développent chacun une force d'environ 30 chevaux.

Le diamètre de la chaîne varie de 20 à 28 millimètres et son poids de 8 à 18 kilogrammes par mètre courant.

Le bief est divisé en deux relais de 10 kilomètres qui aboutissent à une gare d'évitement ménagée à la sortie du grand souterrain.

Les convois parcourent normalement ces deux relais en douze heures, ce qui permet de faire passer deux trains par jour dans chaque sens.

Ils comprennent ordinairement de quinze à vingt-cinq bateaux et offrent une longueur de 800 à 1300 mètres; leur tonnage varie de 3600 à 6000 tonnes dans la direction de Paris et de 1200 à 2000 tonnes dans la direction de la Belgique.

Les convois franchissent sans difficulté les courbes les plus raides, grâce à des estacades disposées du côté de la rive convexe et qui offrent au niveau de l'eau une glissoire à l'aplomb du pied du talus.

La vitesse de marche des trains par seconde est la suivante :

	VERS PARIS.	VERS LA BELGIQUE.
	mètre	mètre.
Dans le grand souterrain.	0,35	0,50
Dans le petit souterrain	0,40	0,55
Dans les tranchées..	0,50	0,60

Les frais d'exploitation du service s'élèvent annuellement à la somme de 65 000 francs, y compris l'entretien et les grosses réparations du matériel.

Les bateaux chargés payent un droit d'attache de 0 fr. 0025 par tonne kilométrique; les bateaux vides sont remorqués gratis.

Le trafic desservi en 1888 comprend 6744 bateaux vides et 12 849 bateaux chargés de 3 099 953 tonnes de marchandises.

Les recettes se sont élevées à 150 272 fr. 57 et ont dépassé le montant des dépenses de 85 272 fr. 57, soit de 131 pour 100.

La traction est revenue à 0 fr. 0011 par tonne kilométrique.

Le service de touage dont il s'agit dessert avec une régularité parfaite un mouvement annuel de près de 20 000 bateaux et de plus de 3 millions de tonnes de marchandises; il permet au besoin de faire passer 60 bateaux par jour dans chaque sens, avec une vitesse de près de 1700 mètres à l'heure, dans un bief où se trouvent accumulées, pour ainsi dire, toutes les difficultés que la navigation peut rencontrer sur un canal.

La taxe perçue par kilomètre pour un bateau chargé de 250 tonnes n'est que de 0 fr. 625, tandis qu'elle atteint 2 fr. 30 sur le canal de Bourgogne, 1 fr. 25 sur le canal de la Marne au Rhin et 3 fr. 10 sur la Scarpe canalisée.

Cette taxe procure néanmoins au Trésor un bénéfice relativement considérable.

Traction par locomotives. — Un service de traction par locomotives a fonctionné pendant plusieurs années sur les canaux de Neuffosé, d'Aire et de la Deûle, entre les Fontinettes et les abords de Douai, sur un parcours de 77 kilomètres avec une seule écluse.

La voie ferrée offrait une largeur de 1 mètre. Les rails pesaient 15 kilogrammes le mètre courant; ils étaient posés sur des traverses en bois de 1 m. 70 de longueur. Le ballastage présentait une largeur de 2 mètres et une épaisseur de 0 m. 30.

Les machines étaient des locomotives-tenders à quatre roues couplées; elle pesaient chacune 11 tonnes, 1 à vide et 14 tonnes en service.

La traction ne s'opérait guère qu'à la remonte; chaque train remorqué comprenait en général deux ou trois bateaux à pleine charge; la vitesse de marche était de 1500 mètres à l'heure.

Ce service fonctionnait concurremment avec le halage aux longs jours; il existait en outre un service de touage entre Pont-à-Verdin et les abords de Douai, sur un parcours de 18 kilomètres.

Les prix de traction étaient en 1885 de 0 fr. 0034 par tonne kilométrique pour la totalité du trajet; ils sont descendus jusqu'à 0 fr. 0027 sur la section de Pont-à-Vendin à Douai.

Ces prix étaient sans doute insuffisants, car la Société du halage à vapeur a dû entrer en liquidation et cesser tout service à partir du 1er février 1886.

La lutte a continué depuis lors entre le service de touage et le halage aux longs jours, mais les prix de traction se sont relevés à 0 fr. 0043 par tonne kilométrique.

Le touage dessert sensiblement le tiers du trafic à la remonte, soit environ 600 000 tonnes par an.

Traction funiculaire. — Un système de traction par câble sans fin actionné à l'aide d'un moteur fixe a été expérimenté l'an dernier, avec un plein succès, sur une section du canal Saint-Maur, par les soins de M. Maurice Lévy, ingénieur en chef des Ponts et chaussées.

Les deux brins du câble courent l'un à droite, l'autre à gauche du canal sur des poulies portées par des chevalets établis en dehors des chemins de halage.

Les bateaux s'amarrent individuellement à l'un ou à l'autre de ces brins suivant le sens de leur marche; le câble opère par suite simultanément la traction des bateaux à la remonte et à la descente.

Des essais de traction funiculaire ont été tentés à différentes reprises, notamment sur la Sambre canalisée en 1871, sur le canal de la Meuse à l'Escaut en 1882, sur le canal Saint-Martin en 1883 et sur le canal de Saint-Quentin en 1884.

Ces derniers essais, effectués par M. Oriolle, ingénieur des arts et manufactures, ont résolu d'une manière satisfaisante la question de l'amarrage du bateau à la corde de remorque et de cette corde au câble sans fin; mais ce câble n'a pu être maintenu dans les poulies qui le portent ou le dirigent, lors du passage des bateaux remorqués dans les courbes de faible rayon.

M. Oriolle entreprend actuellement de nouveaux essais pour obvier à cet inconvénient capital.

D'autre part, M. Maurice Lévy est arrivé, dès le mois de novembre 1888, à résoudre l'ensemble du problème au moyen d'appareils différents de ceux qu'a inventés M. Oriolle.

Il achève présentement l'installation de son système sur toute l'étendue des canaux Saint-Maur et Saint-Maurice, soit environ 5 kilomètres.

M. Lévy a bien voulu dresser, sur notre demande, le devis d'un service de traction funiculaire pour la section de la ligne de la Belgique vers Paris qui s'étend d'Etrun et Janville.

Cette section comprend le haut Escaut, le canal de Saint-Quentin et le canal latéral à l'Oise; elle offre une longueur de 140 kilomètres et dessert en nombre rond un trafic de 3 200 000 tonnes.

D'après ce devis, les machines fixes seraient espacées de 28 kilomètres; elles formeraient cinq groupes dont chacun actionnerait deux circuits correspondant à une longueur de canal de 14 kilomètres.

Chaque groupe aurait à produire normalement un travail de 100 à 120 chevaux-vapeur, et pourrait en fournir exceptionnellement 140 ou 150.

Le câble, entièrement métallique, aurait environ 30 millimètres de diamètre et pèserait au maximum 3 kil. 75 le mètre courant; il marcherait avec une vitesse de 0 m. 70 par seconde, soit 2500 mètres à l'heure. Les poulies seraient normalement espacées de 75 mètres.

Dans ces conditions, M. Lévy estime les dépenses de premier établissement à 18 000 francs par kilomètre, dont 6000 francs pour le câble, 8000 francs pour les supports et 4000 francs pour les machines.

Il évalue, d'autre part, les frais annuels d'exploitation à 5600 francs par kilomètre, savoir : 2100 francs pour la marche des machines, 2780 francs pour l'entretien et l'amortissement du matériel et 720 francs pour l'intérêt des capitaux engagés.

La traction funiculaire reviendrait, par suite, à 0 fr. 00175 par tonne kilométrique, soit à 66 fr. 15 pour un bateau de 270 tonnes allant à charge d'Etrun à Janville et revenant à vide de Janville à Etrun.

Un tel bateau payant actuellement 158 fr. 05, la traction funiculaire lui procurerait une économie de 91 fr. 90, soit de 58 pour 100.

Examen comparatif des divers modes de locomotion. — Le halage à bras et surtout le halage mixte pratiqué sur les canaux de la région du Centre paraissent convenablement appropriés à la traction des bateaux de faible tonnage qui fréquentent ces canaux.

Halage par des hommes ou des bêtes de trait. — Mais ce mode de locomotion n'est nullement avantageux pour les bateaux de fort tonnage qui circulent sur les canaux et les rivières canalisées de la région du Nord et de l'Est.

L'emploi de chevaux logés à bord ne peut être recommandé sur ces voies navigables, à moins de circonstances exceptionnelles, en raison de nombreux arrêts auxquels les bateaux sont astreints.

Le halage aux longs jours présente de graves inconvénients pour la batellerie et pour le commerce.

L'extrême variabilité des prix de traction ne permet pas aux mariniers de calculer à l'avance le montant des dépenses qu'ils auront à supporter, ce qui maintient d'ordinaire le fret à un taux trop élevé; elle les oblige à s'arrêter aux différents lieux de billage pour discuter les prétentions des charretiers, et par ces arrêts successifs leur fait souvent perdre plusieurs jours; elle donne lieu enfin à de fréquentes contestations entre les propriétaires de bateaux et leurs mariniers à gages.

D'autre part, l'insuffisance du nombre des chevaux affectés au halage à la saison des labours, des semailles ou des récoltes provoque en général une hausse notable dans les prix de traction et occasionne des encombrements de longue durée sur les canaux très fréquentés.

L'établissement de relais particuliers tels que ceux des sieurs Pavot remédie dans une certaine mesure à ces inconvénients et permet d'abaisser le prix du halage, en raison des économies réalisées sur les frais de nourriture des chevaux et des charretiers[1].

Mais les mariniers perdent communément beaucoup de temps à chaque relai; ils mettent, par suite, deux jours au moins pour franchir les 34 kilomètres et les 4 écluses du canal latéral à l'Oise, tandis qu'ils effectuent facilement en un jour et demi le parcours de 41 kilomètres avec 12 écluses qu'offre la section de Saint-Quentin à Chauny.

Les services de halage par chevaux organisés sur les canaux du Nord, en vertu du décret du 19 juin 1875, fonctionnent au contraire de la manière la plus satisfaisante au point de vue de la régularité et de la rapidité de la navigation.

Ils sont de plus notablement moins coûteux que le halage aux longs jours, et même que les relais des sieurs Pavot, toutes choses égales d'ailleurs.

Leur organisation porte atteinte, il est vrai, à la liberté du halage; mais cette atteinte est justifiée par des nécessités d'ordre supérieur lorsqu'il s'agit de voies navigables aussi fréquentées que l'Escaut et le canal de Saint-Quentin.

Pour les canaux moins fréquentés, il paraît possible de concilier les

1. Les haleurs payent habituellement 13 fr. 50 à 14 fr. par jour et par courbe dans les auberges des vallées de l'Oise et de l'Aisne.

intérêts de la batellerie avec ceux des populations riveraines, en organisant le halage d'après le règlement du 1er juin 1855, lequel a été appliqué jusqu'en 1860, entre Condé et Conflans-Sainte-Honorine.

Propulsion et traction par la vapeur. — Les bateaux à vapeur ne sont pas admis à circuler sur les canaux avec la vitesse de 7 à 12 kilomètres à l'heure, qui permet de les employer avantageusement sur les rivières et les fleuves canalisés.

Aussi ne portent-ils en général sur lesdits canaux que des marchandises de valeur qui peuvent être grevées sans inconvénient d'un fret relativement élevé.

Les remorqueurs se développent, en même temps que les porteurs, sur les grands cours d'eau canalisés et tendent à y remplacer les toueurs, en raison de la vitesse avec laquelle peuvent marcher les convois remorqués.

Les toueurs paraissent au contraire devoir être préférés sur les canaux, où les trains ne peuvent être animés que d'une faible vitesse.

Leur emploi n'est toutefois réellement justifié que dans les biefs de grande longueur et sur les points où les bateaux se trouvent obligés de marcher en convoi.

Le temps perdu pour la formation et la décomposition des trains au passage des écluses ordinaires des canaux compense en effet, dans une large mesure, les avantages inhérents à la traction par la vapeur pour les biefs de longueur moyenne et *a fortiori* pour ceux de faible longueur, lorsque le halage par chevaux y est convenablement organisé.

L'essai effectué sur les canaux de Neuffossé, d'Aire et de la Deûle, semble d'ailleurs établir la supériorité du touage sur la traction par locomotives au point de vue du prix de revient.

Mais les deux systèmes ne pourront, à notre avis, faire concurrence au halage funiculaire dès que ce nouveau mode de traction sera devenu réellement pratique.

Nous estimons, d'autre part, que l'État ne doit pas hésiter à établir dans chaque bief de canal le mode de locomotion le mieux approprié aux conditions techniques et au trafic de ce bief, à l'exclusion de tout autre système.

Cette mesure nous paraît la conséquence nécessaire des sacrifices considérables imposés au Trésor pour uniformiser les canaux, apporter aux différents ouvrages les améliorations qu'ils comportent et faire disparaître les obstacles qui s'opposaient à la régularité, à la rapidité et au bon marché des transports par eau.

Les canaux constituent des voies artificielles créées aux frais du pays tout entier en vue de l'utilité générale : l'État a le droit et le devoir d'en tirer le meilleur parti possible, en les exploitant au mieux des intérêts du commerce et de l'industrie.

Conclusions. — D'après ce qui précède, nous avons l'honneur de poser les conclusions suivantes :

1° Il y a lieu de poursuivre activement les essais qui restent à effectuer en vue de l'application de la traction funiculaire aux canaux et aux rivières canalisées assimilables aux canaux.

2° Il convient de procéder à l'installation de ce système sur tous les canaux dont le trafic est suffisant pour assurer une diminution notable des frais de traction actuels.

3° Il importe d'organiser un service de halage par chevaux conformément au décret du 19 juin 1875, ou au règlement du 1er juin 1855, sur tous les canaux qui font partie d'une grande ligne de navigation et où l'établissement de la traction funiculaire serait reconnu impraticable.

Compiègne, 10 juin 1889.

QUELQUES DONNÉES ET RÉSULTATS PRATIQUES

SUR LES

ASCENSEURS BELGES

PAR

M. DUFOURNY
Ingénieur principal des Ponts et chaussés, à Bruxelles.

QUELQUES DONNÉES ET RÉSULTATS PRATIQUES

SUR LES

ASCENSEURS BELGES

RAPPORT

DE

M. DUFOURNY

Ingénieur principal des Ponts et chaussées à Bruxelles.

Situation de la question. — Dans une note qu'il a rédigée en 1885 sur un projet de plan incliné pour bateaux, à l'occasion du Congrès de navigation de Bruxelles, M. Jacquier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, de France, parlant d'un projet de canal destiné à mettre en communication la Loire et le Rhin, en desservant le centre industriel de Saint-Étienne, s'exprimait comme suit : « ..... on avait prévu l'établissement de plusieurs ascenseurs et plans inclinés. Mais cette disposition soulevait de grandes objections. D'une part, malgré le succès incontestable de l'ascenseur d'Anderton, on ne peut encore considérer la question des ascenseurs pour bateaux de 300 tonnes comme étant complètement résolue; il paraissait dès lors peu admissible qu'on basât la construction d'un canal d'une grande importance sur l'adoption d'un système dont la réussite n'était pas tout à fait certaine..... Les plans inclinés donnaient lieu à une objection analogue. Enfin, ces deux systèmes d'appareils élévateurs soulevaient une objection très grave en ce qui concerne la dépense, qui était excessive. »

La situation a bien changé depuis 1885. La question des ascenseurs a fait des progrès énormes. On n'en est plus à avoir des doutes ou des appréhensions sur la possibilité d'appliquer le système à l'élévation de bateaux de 300 à 400 tonnes : les difficultés techniques du problème ont été surmontées. Deux grands ascenseurs à sas équilibrés pesant respectivement 1 600 000 et 2 100 000 kilogrammes fonctionnent aux Fontinettes et à la Louvière et ont fait leurs preuves.

L'ingénieur est maître de la question. Il arrivera incontestablement et prochainement à modifier, à simplifier les solutions admises et à réduire

la dépense, ce qui est le point essentiel; mais on peut dire qu'il a créé et que, dès à présent, il possède un puissant et précieux outil appelé à élargir considérablement le domaine de la navigation. Il a modernisé la construction des canaux en donnant à celle-ci le moyen d'utiliser les ressources de la mécanique et les progrès admirables réalisés dans cette science. Le canal est mis ainsi à la hauteur de notre époque et peut suivre le chemin de fer comme un auxiliaire utile dans beaucoup de directions où il ne pouvait atteindre auparavant.

Ce n'est pas à dire pourtant que la solution nouvelle soit d'une application générale ni qu'elle soit destinée à opérer une révolution dans les moyens de transport; son rôle sera, au contraire, fort limité, car les canaux à profil accidenté sont, en général, d'une construction coûteuse et ne peuvent être établis que dans des cas exceptionnels. Le but, la principale raison d'être des canaux, c'est d'opérer le transport à bon marché, de permettre le déplacement des marchandises pondéreuses et de bas prix, et d'étendre le rayon de pénétration des matières premières, des matières brutes servant d'aliment à l'industrie. Le canal doit donc coûter peu pour transporter à bon marché, et sa dépense kilométrique doit être strictement limitée par le trafic à desservir.

Nous n'insisterons pas sur ce côté économique de la question, qui sera traité, sans doute, avec les développements qu'il comporte, par d'autres rapporteurs ou membres de ce Congrès.

Nous ne nous arrêterons pas non plus à décrire *en détail* les ascenseurs des Fontinettes et de la Louvière. La chose a été faite non seulement dans les journaux scientiques et dans les publications spéciales, mais même dans la presse ordinaire. Peu de questions techniques ont autant intéressé et passionné le public, et la cause en est vraisemblablement moins aux difficultés mécaniques surmontées qu'à la puissance colossale des appareils mis en mouvement et à la grandeur relativement énorme des efforts imprimés et des chemins parcourus. Il existe déjà, sur les ascenseurs, toute une bibliothèque dont j'indique les principaux ouvrages à la fin de cette notice.

Une raison de plus de ne pas entrer ici dans la description détaillée des ascenseurs récemment construits, c'est qu'il se trouve, dans les locaux mêmes de l'Exposition, des modèles de ces appareils, à grande échelle, extrêmement soignés et qui forment la plus éloquente des descriptions.

Les ingénieurs qui s'occupent de navigation connaissent les nouveaux appareils; ils savent que leur construction repose sur des principes identiques et que leurs plans d'exécution émanent des mêmes ingénieurs, MM. L. Clark, Standfield et E. Clark.

Les ascenseurs de la Louvière et des Fontinettes sont semblables dans leurs parties essentielles; ils ne diffèrent que par leurs dimensions, leurs poids, et par des détails de construction.

Les ascenseurs belges. — Notre tâche peut donc se borner à fournir quelques données pratiques au sujet de l'ascenseur établi en Belgique et à indiquer ensuite les nouvelles applications que l'on va faire de cet appareil, les dispositions déjà prises à cet effet et les différences essentielles que présenteront les nouveaux ascenseurs par rapport à celui de la Louvière.

Pour achever le canal du Centre et terminer la section de 7 kilomètres de longueur qui s'étend depuis la Louvière jusqu'à Thieu et qui doit racheter une chute de 66 m. 196, il reste encore à construire trois ascenseurs dont un est projeté sur le territoire de la commune de Thieu et les deux autres sur le territoire de la commune de Houdeng-Aimeries.

Le premier ascenseur du canal du centre est établi sur le territoire de la commune de Houdeng-Goegnies, non loin de la limite séparative du territoire de la Louvière. De là vient qu'il est désigné tantôt sous le nom d'ascenseur de la Louvière et tantôt sous celui d'ascenseur de Houdeng.

C'est en 1885, le 15 mai, que furent entamés les travaux de maçonnerie du premier ascenseur, et c'est au commencement de 1888 que la partie métallique fut entièrement achevée.

Il ne s'est présenté, au cours des travaux, de réelle difficulté qu'en ce qui concerne l'exécution des presses des deux sas.

Mode d'exécution des presses aux Fontinettes et à la Louvière et résultats obtenus. — Les presses sont le point délicat, le point dangereux de l'appareil; c'est sur elles que reposent l'équilibre et la stabilité de tout le système. Elles doivent avoir des dimensions inusitées et résister à des pressions énormes. Il y avait une certaine audace à faire reposer sur deux presses un poids total de 2 millions 96 000 kilogrammes, ce qui obligeait à porter à 2 m. 06 le diamètre intérieur du corps des presses et à 34 atmosphères environ la tension permanente.

Le problème, déjà compliqué en lui-même, se posait, il est utile de le rappeler, au lendemain et sous le coup de l'impression de l'accident d'Anderton, où la virole supérieure d'une des presses avait éclaté sous une charge de 240 tonnes et produit la chute du sas.

On voulut être absolument certain du succès, et l'on entoura l'exécution des presses des précautions et des soins les plus méticuleux.

En France, il avait été question, à l'origine, d'exécuter en fonte les presses de l'ascenseur des Fontinettes et de leur donner des épaisseurs de 12, puis, plus tard, de 14 centimètres. Mais la fonte de fer, sous de pareilles épaisseurs, n'inspira pas de confiance et on pensa à employer l'acier fondu de Terre-Noire. Des essais furent opérés sur des viroles en acier fondu. Ils ne répondirent nullement à l'attente. Au lieu d'arriver, selon les prévisions, à une résistance à la traction de 50 kilogrammes par millimètre carré, la tension du métal ne dépassa point 15 à 16 kilogrammes.

On essaya, sans plus de succès, l'emploi de tôles soudées en fer et en acier, l'emploi de tôles en acier rivées, et l'on en vint, par tâtonnements

successifs, à s'arrêter à la construction d'une presse composée d'anneaux en acier laminé sans soudure. Les parois de ces anneaux sont à section rectangulaire de 55 millimètres d'épaisseur; ils ont 14 centimètres de hauteur, se superposant et s'assemblant à mi-joint sur 5 millimètres de hauteur.

Les viroles extrêmes sont réunies par des tirants et la presse ainsi formée est revêtue d'une chemise intérieure en cuivre battu au maillet et faisant entièrement corps avec la presse dont elle assure l'étanchéité.

Une virole d'essai de 1 m. 70 de hauteur a résisté à 175 atmosphères sans donner lieu à aucune déformation. La tension intérieure dans les presses des Fontinettes n'étant que de 25 atmosphères, le coefficient de sécurité est donc d'au moins 7.

Malgré l'accident d'Anderton, l'idée d'employer la fonte pour la confection des presses ne fut pas abandonnée en Belgique. La fonte avait fait ses preuves, elle avait de tout temps été employée d'une manière exclusive pour la confection de presses hydrauliques et la question était de savoir si l'on ne pouvait parer à un accident du genre de celui d'Anderton, où la tension à l'intérieur des presses était trop forte et le travail du métal trop élevé, en renforçant le corps des presses dans une mesure convenable. Tel était le problème. Et l'idée première fut de fretter, de distance en distance, le corps des presses par des cercles en acier placés à chaud et enserrant un tiers de la hauteur totale des cylindres en fonte. Ces cylindres se bombèrent entre les frettes sous une pression d'essai de 131 atmosphères.

Dans un but d'entière et d'absolue sécurité, l'administration décida de fretter les presses d'une manière continue sur toute la hauteur, afin d'obtenir, en tous points, une égale résistance. De plus, les frettes furent placées à chaud afin d'empêcher la fonte de travailler à plus de 1 kilogramme par millimètre carré sous une tension intérieure de 34 atmosphères.

Les corps de presse de l'ascenseur de la Louvière sont donc formés de viroles en fonte de 0 m. 10 d'épaisseur, de 2 m. 06 de diamètre intérieur et de 2 mètres de hauteur, consolidées et reliées entre elles par des frettes en acier jointives de 0 m.05 d'épaisseur et de 0 m. 152 de hauteur moyenne.

Une virole en fonte soumise au préalable à toute une série d'essais sous une pression ne dépassant pas 100 atmosphères, s'est rompue à une pression de 146,5 atmosphères, après avoir résisté à une pression de 152 atmosphères.

Le métal des frettes en acier a fourni une résistance de 46 kil. 87 à l'extension par millimètre carré et un allongement de 25,27 pour 100 en moyenne à la rupture. La fonte des viroles coulée sous forme de barrettes a résisté à 17 kil. 33 à l'extension et à 73 kil. 49 à la compression.

Enfin, et ce résultat est le plus important à signaler, une virole en fonte avec frette en acier, après une série d'essais allant jusqu'à 200 atmosphères,

s'est rompue à 265 atmosphères, la fonte seule ayant cédé sans production d'éclat et sans altération du métal des frettes en acier.

On peut donc considérer la résistance des presses au moins comme 8 fois supérieure à l'effort permanent qui les sollicite.

Le système de presse adopté en Belgique diffère essentiellement du système français. Tous deux ont fait leurs preuves, tous deux sont d'un prix relativement élevé et comportent un véritable excès de dimensions et de sécurité.

Peut-être bien cependant le système français est-il théoriquement le meilleur, parce qu'il est le plus simple, que la résistance est empruntée tout entière à un seul métal et que les presses des Fontinettes ne sont pas, comme celles de la Louvière, constituées par un assemblage d'acier et de fonte dont la nature et l'homogénéité sont différentes.

La fonte ne joue, à proprement parler, dans ce dernier ascenseur, d'autre rôle que de former enveloppe étanche, et l'on peut se demander si, à cet égard, une enveloppe de cuivre de quelques millimètres d'épaisseur ne serait pas d'un usage plus rationnel.

Il ne nous reste qu'un mot à dire sur les presses avant de parler des essais auxquels l'ascenseur a été soumis avant sa réception.

La communication entre les presses s'opère à la partie supérieure de celles-ci. Un distributeur circulaire, en fonte, est logé entre deux viroles de la presse et a la forme d'un tore creux en fonte. Il est en communication avec la presse par une série d'ouvertures de 0 m. 05.

Le tore ou distributeur d'une presse est placé en regard de celui de la presse voisine et réuni à ce dernier par une tuyauterie spéciale.

Aux Fontinettes, la communication des presses se fait par le bas, ce qui donne lieu au grave inconvénient d'exiger une tuyauterie à haute pression de plus de deux fois la profondeur des puits où se trouvent les presses.

Il n'a pas été établi de compensateur à l'ascenseur de Houdeng dans le but de simplifier des appareils déjà fort compliqués en eux-mêmes. Le compensateur a pour objet principal de limiter la quantité d'eau qui forme la surcharge dans le sas descendant. Cette dépense d'eau n'ayant que peu d'importance, on n'a pas voulu l'éviter au prix d'une complication du système et d'une augmentation de la durée des manœuvres.

A l'ascenseur d'Houdeng, au moment du départ, le bac supérieur a une surcharge due au poids du piston non immergé. Le bac inférieur, au contraire, est allégé par suite de l'immersion de son piston dans l'eau de la presse. De cette manière, deux actions sont mises en jeu; elles sont dirigées dans le même sens et s'ajoutent pour imprimer, au départ, la vive impulsion qui est nécessaire pour vaincre l'inertie et les frottements. Ces actions diminuent d'intensité à mesure de la descente et finissent par agir en sens inverse et comme modérateur à l'arrivée. On attribue à l'absence du compensateur le fait que l'ascenseur du canal du Centre se manœuvre plus rapidement que celui du canal de Neuffossé.

Essais de mise en marche de l'ascenseur de la Louvière. — Après l'entier achèvement des travaux de la partie métallique de l'ascenseur et avant de procéder aux essais officiels, des essais préalables furent exécutés en vue de reconnaître l'étanchéité des conduites d'eau sous pression. Toutes les conduites furent mises en communication avec l'accumulateur; les soupapes d'isolement de chacun des appareils spéciaux furent fermées, et l'on constata une descente de l'accumulateur de 0 m. 055, ce qui correspondait à une perte totale de 2 litres 15 par minute. On mesura ensuite les pertes dues à chacun des claviers de l'ascenseur, et à chaque cabestan hydraulique on chercha le rendement réel des turbines, on manœuvra les portes et l'on fit enfin quelques manœuvres complètes de l'ascenseur.

Les portes furent levées malgré une dénivellation de 0 m. 30 entre l'amont et l'aval. Il se produisit sous cette dénivellation une vague qui vint battre la porte d'aval du sas supérieur sans causer toutefois aucun mouvement de ce sas, ce qui démontrait la résistance des guidages.

Essais officiels préalables à la réception de l'appareil. — Les essais officiels commencèrent le 29 juin 1888, sous le contrôle d'une commission nommée par le gouvernement, et se terminèrent le 28 juillet suivant.

Un des premiers essais consista à remplir les sas complètement d'eau sur une hauteur de 3 mètres. Les sas restèrent en équilibre sous cette charge et aucune partie du système ne présenta la moindre trace de faiblesse. La Commission constata en outre que sous la pression, les assemblages et en général toutes les parties du système contenant de l'eau étaient parfaitement étanches.

Durée des manœuvres. — Pendant la période des essais, le nombre total des manœuvres fut de 362. Parmi celles-ci, les unes avaient lieu simultanément avec un grand et un petit bateau chargés, les autres uniquement avec des petits bateaux. Les premières exigèrent de 10 à 25 minutes et, en moyenne, 15 minutes; les secondes ne prirent, en moyenne, que 12 minutes. Il ne fallut, dans l'un et l'autre cas, que 2 à 3 minutes pour l'ascension des sas.

Dépense d'eau. — Les surcharges d'eau employées dans le sas descendant pendant les manœuvres faites à titre d'expérience varient dans d'assez fortes limites et s'élèvent de 18 à 46 centimètres de hauteur; elles furent, en moyenne, de 30 centimètres. Sous une tranche d'eau supplémentaire de 18 centimètres, le sas descendait avec beaucoup plus de lenteur et ne parvenait que difficilement au terme de sa course.

En comprenant dans la quantité d'eau consommée chaque jour les dépenses de toute nature pour la marche des turbines, la mise en charge de l'accumulation et l'épuisement des cales, on est arrivé, pour la moyenne

des 362 manœuvres effectuées du 27 juin au 28 juillet 1888, à dépenser, par expérience, 291 mètres cubes d'eau et demi. Mais depuis lors on ne se sert plus de l'accumulateur pour faire parcourir au sas montant les derniers centimètres de sa course; les coins d'amont ont été rendus fixes comme ceux d'aval et il n'a plus été nécessaire de se servir de l'accumulateur, le sas faisant lui-même son joint. Il est résulté de là une économie d'eau considérable, et la dépense totale par manœuvre correspond à une moyenne de 204 mc. 555.

Portes levantes. — Pendant les vingt-cinq jours d'expériences dirigées par la commission des essais, les portes levantes firent treize fois défaut. Tantôt il était impossible de les descendre à fond, tantôt les caoutchoucs, les vis ou les tringles étaient à remplacer ou à retoucher; d'autres fois, les cornières guides empêchaient la fermeture, les chaînes et les poulies manquaient de graissage ou les soupapes des presses de manœuvre des portes manquaient d'étanchéité. A deux reprises différentes, les 4 et 25 juillet, les soupapes d'admission commandant les presses de manœuvre, laissèrent passer, goutte à goutte, de l'eau sous pression, les portes des aqueducs se levèrent légèrement et il fallut prendre des mesures immédiates pour arrêter l'échappement des eaux.

C'est encore au défaut d'étanchéité d'une soupape d'admission qu'est dû un accident survenu le 10 septembre 1888. Pendant la descente d'un des sas, les verrous des portes de l'aqueduc fixe d'aval se mirent d'eux-mêmes en mouvement; le sas descendit et vint rencontrer ces verrous placés en saillie sur le nu des portes de l'aqueduc fixe. Ils furent cisaillés net, sans causer heureusement de dégradations notables au sas lui-même.

Un nouvel accident arriva, le 11 janvier 1889, à l'une des portes levantes. Au moment où la porte de l'aqueduc métallique servant de raccordement à l'amont de l'ascenseur était arrivée presque en haut de sa course, le crochet d'attache de la chaîne des manœuvres de la porte se brisa. La porte de l'aqueduc et celle du sas, qui avait été soulevée avec elle, retombèrent avec fracas au fond des rainures qui guident leur mouvement et produisirent un choc très violent sur l'extrémité du sas et sur celle de l'aqueduc métallique; sous l'action de ce choc les contrepoids des portes sortirent de leurs crochets d'attache et tombèrent de 4 mètres de hauteur environ en brisant plusieurs pierres servant de support aux piles métalliques.

Les portes levantes ont l'avantage, sur les portes à rabattement, de réduire la longueur des sas, mais elles impliquent toute une série de chaînes, de crochets et d'organes sujets à détérioration; leur fermeture à fond ne peut s'obtenir qu'au moyen de violents efforts et par chocs souvent renouvelés, en laissant tomber les portes d'une certaine hauteur. Ce sont là des causes de danger et les moyens de fermeture qui les provoquent paraissent défectueux. Les portes levantes nécessitent encore toute une

charpente métallique exclusivement affectée à la manœuvre, ce qui oblige les bateaux à baisser leurs mâts et à limiter leurs charges. Cet inconvénient constitue un argument sérieux contre les portes levantes.

Dépenses de construction. — Les dépenses de construction de l'ascenseur d'Houdeng-Goegnies se répartissent comme suit :

Acquisition des terrains	11 273	»
Terrassements, établissement de puits cuvelés pour les presses, maçonnerie de l'ascenseur proprement dit et bâtiment des machines	402 165	36
Bâtiment pour logement des aides-machinistes	26 891	68
Parties métalliques, y compris les machines	899 062	71
Frais de brevet et d'études des ingénieurs L. Clark, Standfield et E. Clark	65 586	61
Total	1 404 979	36

Auquel total il faudrait ajouter, pour avoir un prix de revient réel, les frais de surveillance, appointements et salaires, les frais des commissions, les voyages, les plans, etc., ce qui fait revenir au minimum à 1 500 000 francs la dépense totale de l'ascenseur d'Houdeng-Goegnies.

Personnel et frais d'exploitation. — Le personnel se composera, en service courant, de trois hommes au moins, probablement de quatre : un machiniste, un aide placé à l'aval pour veiller à la manœuvre des portes et à l'entrée des bateaux, un aide à l'amont préposé aux mêmes fonctions et un chef ouvrier dans la cabine centrale pour régler les manœuvres et le mouvement des sas.

Jusqu'ici on manque de données sur les frais qui seront à payer pour l'entretien des sas, des presses, de l'accumulateur, des portes levantes, et pour le renouvellement des organes tels que soupapes, chaînes, leviers, poulies, presse-étoupe et caoutchouc. Il faudra pourvoir, en outre, aux dépenses pour le graissage des pistons et des guides et pour le peinturage des parties métalliques.

Précautions à prendre contre les gelées. — Pendant les fortes gelées, on s'est borné à descendre les sas dans leurs cales, à vider les presses et toute la tuyauterie sous pression, L'administration avait été saisie d'un projet ayant pour objet de protéger contre les gelées tous les tuyaux et tous les appareils au moyen d'une double chaufferie à courant d'eau chaude. La dépense devait s'élever à environ 9000 francs; elle n'a pas été approuvée jusqu'ici.

Projets des nouveaux ascenseurs à construire sur le canal du Centre. — Les travaux d'achèvement du canal du Centre comportent l'exécution de trois nouveaux ascenseurs qui auront chacun à racheter une chute de 17 mètres en chiffres ronds.

Déjà l'administration des Ponts et chaussées s'est occupée des plans relatifs à ces ascenseurs et vient d'arrêter, en principe, un projet dont les principales dispositions se trouvent reproduites dans les dessins ci-annexés.

De notables modifications et simplifications, toutes basées sur l'expérience acquise, ont été apportées aux formes et aux dispositions des appareils établis à la Louvière. Elles portent à la fois sur les maçonneries, sur les parties métalliques et sur les mécanismes. Nous nous proposons d'en donner succinctement une idée.

Maçonneries. — A la Louvière, le sas mobile est raccordé au bief supérieur du canal par un aqueduc métallique de 17 m. 80 de longueur.

Cette partie métallique a été supprimée dans le nouveau projet et remplacée par un aqueduc maçonné supporté par une voûte. L'emploi du métal est sans utilité réelle et donne lieu à des inconvénients sérieux ; il augmente le coût de l'ouvrage, force à réduire le passage des bateaux à l'entrée et à la sortie des sas et constitue, en hiver, un point de grande sujétion et même de nature à occasionner des dangers.

L'eau renfermée dans l'aqueduc métallique est saisie par le froid sur tout son pourtour ; elle se congèle ainsi très rapidement, exerce sur les parois des poussées énormes et n'est ramenée, lors du dégel, à l'état liquide qu'après un laps de temps fort long, ce qui entraîne des retards préjudiciables à la navigation. On ne peut, du reste, songer à vider l'eau de l'aqueduc métallique aussi facilement que celle du sas.

Pour ces divers motifs, il y avait utilité à supprimer l'aqueduc métallique et à lui substituer une partie en maçonnerie, dont le coût et la durée sont beaucoup plus grands.

La forme du sas a été modifiée dans le but de réduire, autant que possible, la profondeur des cales. On a retourné en quelque sorte de bas en haut la forme donnée aux poutres de l'ascenseur de la Louvière, et l'on a pu diminuer, par ce dispositif, de plus de 1 mètre la profondeur des cales.

Les maçonneries des grands murs de soutènement sont projetées en pierre de taille dans le but de mieux s'opposer au suintement, et un peu aussi afin de donner à l'ouvrage un caractère plus monumental.

Parties métalliques. — Le système d'ascenseur à presse centrale unique et à sas indépendants des poutres de support a été maintenu. Les sas sont des bacs en tôle de 43 mètres de longueur sur 5 m. 80 de largeur et 3 m. 15 de profondeur.

Les poutres ont une forme à plates-bandes courbes, dont la hauteur est commandée par la nécessité de réduire au strict minimum la profondeur des cales. Elles sont placées, pour ce motif, aussi haut que possible par rapport à la tête du piston de la presse. Leur grande hauteur relative a pour but de diminuer la flexion du sas, ce qui est de grande importance pour l'étanchéité des joints aux abouts.

Dans le but d'alléger le poids des parties mobiles de la construction, la charpente et les portes du sas sont projetées en acier.

Les parties fixes de l'ossature métallique des nouveaux ascenseurs devant, au contraire, avoir de la masse pour résister aux actions qui les sollicitent, seront construites en fer. Ce métal résistant moins que l'acier, les dimensions auxquelles il conduit sont relativement fortes, et les poids correspondants relativement considérables.

Les piles guides sont projetées en fer, et leurs dimensions ont été calculées de façon à donner une entière sécurité; le métal ne travaille guère à plus d'un kilogramme et demi par millimètre carré. Ce surcroît de sécurité a paru nécessaire parce que l'on a renoncé aux guides extrêmes placés, dans le premier ascenseur, aux angles de la partie aval des sas, et que l'on abandonnait ainsi une mesure de précaution apparente. Il existe, en effet, à la Louvière, des guides au centre et à chacun des angles du sas mobile. Or, pour tenir compte des allongements de ce dernier sous une variation de température de 35 degrés, il faut ménager un jeu de 18 à 20 millimètres entre les guides extrêmes et les pièces métalliques à demeure dans lesquelles ces guides doivent glisser. En pratique, il a été constaté que ces diverses pièces ne viennent pas en contact, que leur but n'est donc pas rempli, et que le guidage central agit seul et est insuffisant. Le tout, dès lors, revient à donner au guidage central la résistance voulue pour parer aux forces agissant dans le sens longitudinal. La valeur totale de ces forces ne s'élève pas, à la Louvière, à plus de 40 000 kilogrammes; elle est la résultante de deux forces bien connues et faciles à chiffrer : l'effort produit par le sas sur le coin d'amont et la poussée exercée sur la porte d'aval quand les portes d'amont sont ouvertes.

Un guidage central solidement établi est donc parfaitement suffisant. C'est là un fait acquis, un résultat d'expérience qui dérive des observations faites aux Fontinettes et à la Louvière, et qu'il est important de noter parce qu'on peut l'invoquer, ce que nous montrerons plus loin, comme un argument à l'appui des projets d'ascenseurs à plusieurs presses.

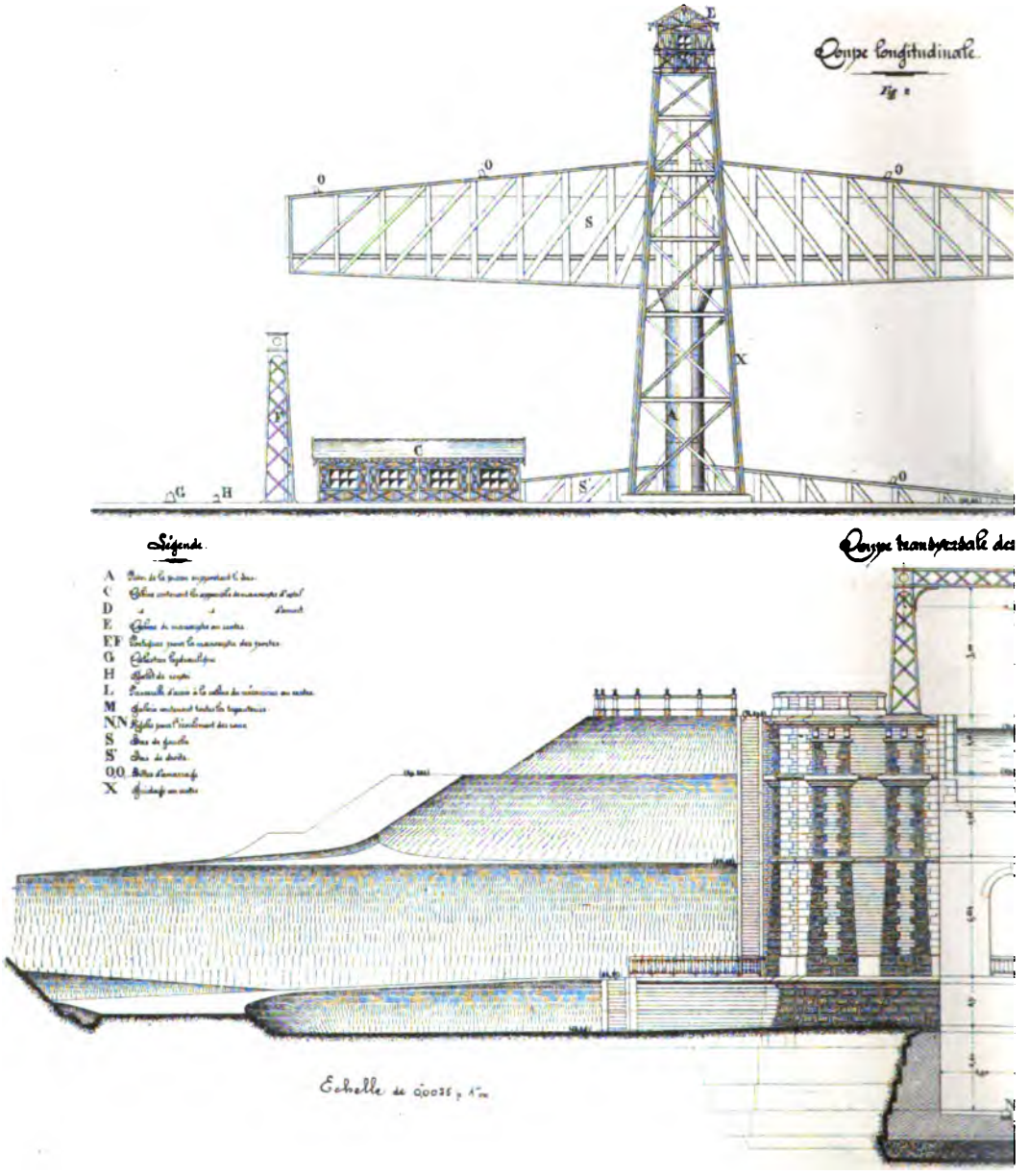
Dans l'ascenseur français, le sas mobile est entièrement libre vers l'aval, mais vers l'amont il a des guides placés dans les maçonneries pour empêcher tout mouvement de rotation dans le sens horizontal.

On a suivi le même dispositif dans le projet qui vient d'être admis en Belgique.

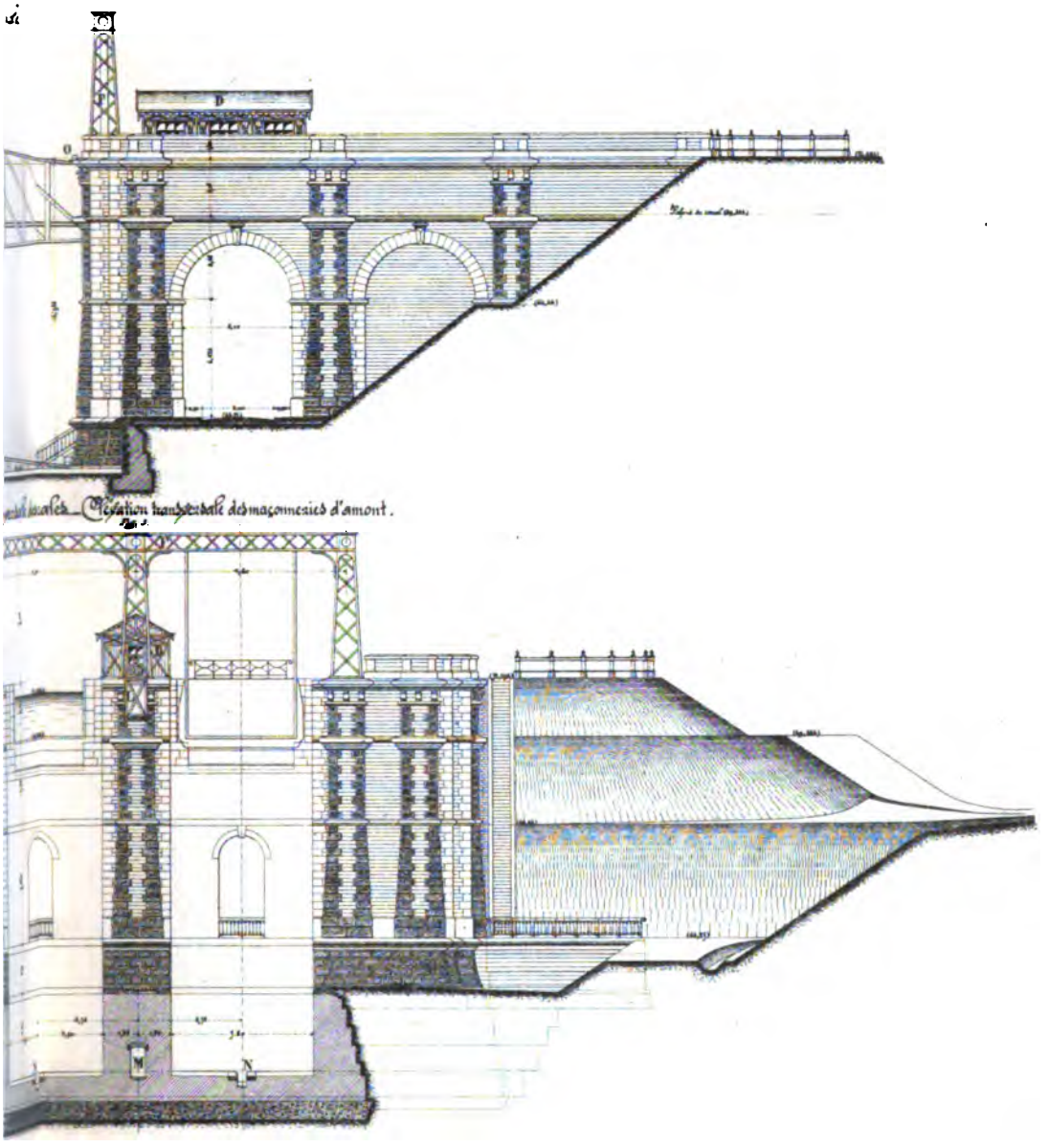
Presses. — Le système de presse adopté pour les nouveaux appareils projetés est entièrement le même que celui de la Louvière. Il a fait ses preuves, on s'y tient, et l'on ne veut point tenter de nouvelles expériences, d'autant plus que les économies à faire ne sauraient être bien importantes. La presse sera donc en fonte cerclée d'acier.

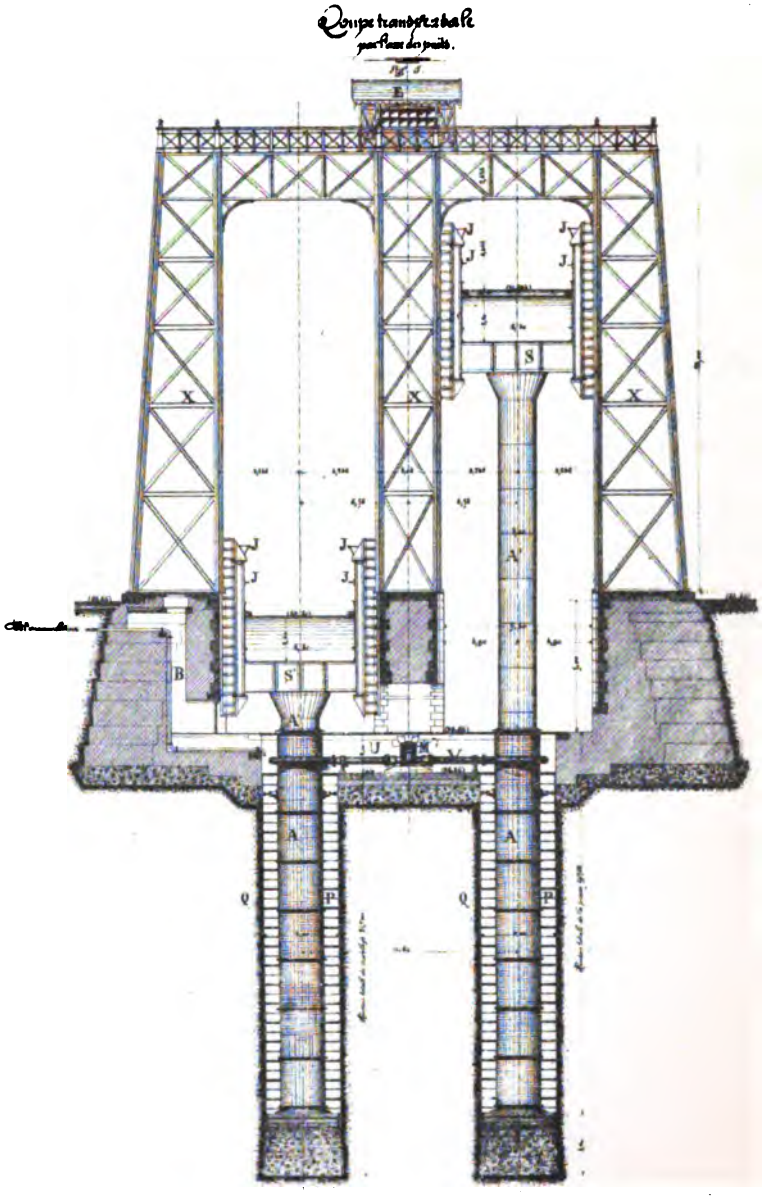
Une seule amélioration de détail sera apportée à la partie inférieure de la presse adoptée comme modèle. Elle concerne l'assemblage du fond et

PROJET APPROUVÉ DES NOUVEAUX



ASCENSEURS DU CANAL DU CENTRE

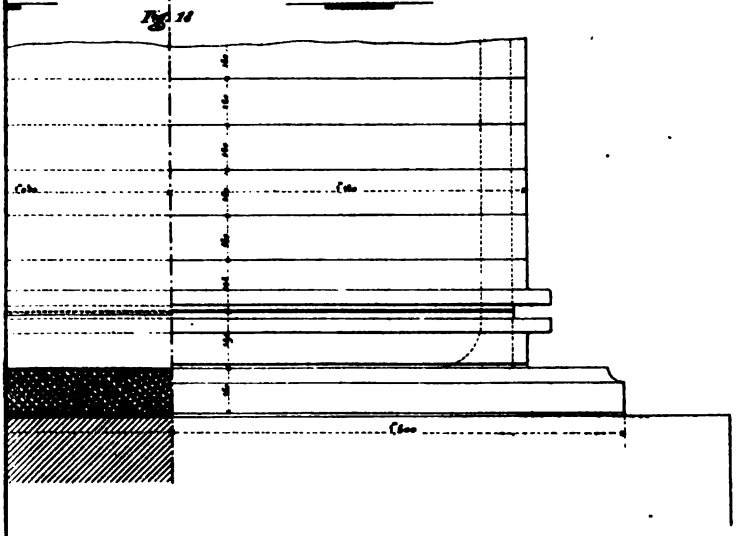



E
J
S
X
A'
B
S'
U
V
A
Q
P

CENTRE

ie inférieure des grandes presses.

verticale. Demi-élévation.



du corps cylindrique. Le dessin (pl. n° 3) indique les dispositions projetées à cet effet et fait voir comment on est arrivé à établir la liaison et la solidarité voulues entre les deux parties de la pièce la plus importante du système.

La communication entre les presses des deux sas s'opérera suivant le système adopté à la Louvière, et que nous avons précédemment décrit.

Pour le cas où il surviendrait des difficultés avec les constructeurs brevetés pour ce système, l'administration pourrait employer une disposition ingénieuse représentée dans la figure n° 3, et qui a été imaginée par les ingénieurs des Ponts et chaussées préposés à la direction des travaux du canal du Centre.

Mécanismes. — Une simplification notable a été introduite dans les mécanismes. Toutes les manœuvres accessoires qui s'opèrent à la Louvière au moyen de la force hydraulique se feront à la main dans les nouveaux ascenseurs. La puissance hydraulique est d'un mauvais emploi pour assurer le fonctionnement des mécanismes secondaires. Il est bien difficile, en effet, d'assurer la parfaite étanchéité des soupapes et, d'un autre côté, si la moindre fuite se produit, on est exposé à des mécomptes et à des imprévus de toute nature, comme le prouvent les accidents survenus à la Louvière.

C'est donc entièrement à la main que se feront l'accrochage des portes, l'ouverture des ventelles et la manœuvre des coins d'arrêt dans les nouveaux ascenseurs. Les coins d'aval sont rendus fixes, les coins d'amont ne seront plus manœuvrés qu'exceptionnellement. On pourra, au moyen de vérins, régler le niveau de ces derniers, de manière à parer aux variations de la hauteur d'eau dans le canal; mais il est peu probable que l'on se serve beaucoup de ce moyen régulateur. Il sera plus pratique de ne pas toucher à l'appareil, quitte à dépenser un peu plus d'eau, ce qui est sans importance au canal du Centre, où les biefs d'aval doivent être alimentés, en majeure partie, au moyen de l'eau des biefs d'amont.

La force hydraulique ne sera donc plus utilisée que pour lever les portes et réparer les pertes des conduites d'eau sous pression.

Tous les appareils, ceux qui commandent les manœuvres à l'amont, à l'aval et au centre, sont enclenchés par verrous et calages, suivant les dispositifs adoptés pour les appareils manœuvrant les signaux de chemin de fer. Les enclenchements sont combinés de manière que le mécanicien du centre ne peut faire monter ou descendre le sas pendant que les mécaniciens d'amont et d'aval sont à la manœuvre, et ces derniers sont dans l'obligation d'opérer la manœuvre successivement et dans un ordre déterminé de manière à prévenir toute erreur ou accident.

Mesures de précaution contre les gelées. — Nous avons dit qu'à la Louvière les tuyauteries sont exposées à la gelée et qu'on a projeté, pour

les garantir, une double chaufferie à courant d'eau chaude. Dans le nouveau projet d'ascenseur approuvé par l'administration belge, tous les tuyaux sont placés à l'abri des gelées. Ils sont logés dans l'épaisseur des maçonneries, à l'intérieur de chambres spacieuses, dont l'accès est facile et où l'on peut aisément entretenir du feu. Les vannes, les soupapes, les pompes des cales, se trouvent également placées dans des chambres ménagées dans l'épaisseur des maçonneries; enfin tous les appareils hydrauliques qui commandent les manœuvres à l'amont et à l'aval des sas, sont enfermés dans des abris établis sur les piles de l'ascenseur et figurés au dessin nos 1 et 2.

Conclusion. — L'expérience acquise et les études faites pendant la construction de l'ascenseur de la Louvière ont donc permis de réaliser de nombreuses et importantes améliorations dans les projets des ascenseurs à construire.

L'appareil est beaucoup simplifié.

On a définitivement renoncé aux tubes compensateurs, on a supprimé les passerelles autour des sas mobiles et remplacé par une construction en maçonnerie les aqueducs métalliques servant à raccorder, vers l'amont, les sas et le canal. Les coins sont devenus fixes avec possibilité de régler à la main ceux d'amont. Les guides d'aval ont disparu, et toutes les causes d'accident dues à l'action spontanée de l'eau sous pression ont été soigneusement écartées en prenant les dispositions nécessaires pour manœuvrer à la main les enclenchements, les coins et les verrous d'accrochage des portes. Les leviers des manœuvres sont enclenchés entre eux et une sécurité absolue dérive du fait d'avoir rendu mécaniquement impossibles les fausses manœuvres.

Un relèvement notable du radier des cales a été obtenu en donnant aux poutres du sas une forme plus rationnelle, et le poids de toutes les parties mobiles du système a été réduit par la substitution de l'acier au fer. Une dernière amélioration réalisée a été de soustraire à l'action de la gelée les tuyaux, les soupapes et les ventelles. On est donc parvenu à des réformes utiles et à des progrès notables.

Beaucoup de chemin a été fait depuis les débuts et en fort peu de temps ; mais il y a beaucoup à faire encore. La voie reste largement ouverte au progrès. Il y a de nombreux problèmes encore à résoudre, parmi lesquels : la suppression des portes levantes, qui sont une cause d'entrave et de danger; la simplification du mode de construction des presses; la réduction de leurs dimensions et de celles d'un grand nombre de pièces de l'ouvrage, qui ont dû être un peu exagérées à l'origine par suite du défaut d'expérience et dans le but d'arriver à un surcroît de sécurité.

A l'ascenseur de la Louvière et dans ceux qui sont en projet, on a laissé les tôles du bac mobile, où vient se loger le bateau, tout à fait indépendantes des poutres de support. Ces tôles ne travaillent donc pas à la flexion

malgré la grande résistance qu'elles offrent à cet égard. Cette mesure de précaution peut avoir sa raison d'être au point de vue de l'étanchéité, mais est-elle indispensable et justifiée au point de vue du minimum de dépenses à réaliser?

Le dernier mot ne semble pas dit en ce qui concerne le sas à presses multiples. Un bon guidage solide, central, bien calculé, formé de glissières placées de chaque côté du sas et distantes de 2 mètres à 2 m. 50 de l'axe transversal de ce dernier, obligeant nécessairement les pistons des presses à se diriger d'une manière mathématiquement verticale, sans déversement possible des sas, ce système, si on le combine, par surcroît de précaution, avec l'emploi de systèmes spéciaux[1] pour accoupler les presses, semble donner un caractère pratique à l'emploi des appuis multiples.

L'emploi de plusieurs appuis présente des avantages presque inutiles à signaler à cause de leur évidence. Il augmente la sécurité, diminue la longueur des porte-à-faux des sas et le poids de ces derniers, et réduit dans telle mesure que l'on veut les charges à porter par chaque presse, les tensions à l'intérieur de celle-ci, leur diamètre, celui des pistons et, en général, les dimensions de toutes les pièces de l'appareil.

Toutes les difficultés inhérentes à la construction ou à l'emploi de pièces exceptionnelles et de dimensions anormales disparaissent. La pression sur le sol, qui s'élève de 10 à 20 kilogrammes par centimètre carré à la base des presses, quand le support est unique, se ramène à tel taux qui est compatible avec la résistance du sol. Pour élever des bateaux de 350 à 400 tonnes, il a été nécessaire de donner aux presses 2 m. 06 de diamètre intérieur et 38 atmosphères de pression permanente. Ce sont là des limites bien difficiles à dépasser pratiquement. Il y a donc une quasi-nécessité de recourir à des ascenseurs à appuis multiples pour des bateaux de 1000 tonnes, comme ceux qui circulent sur les voies navigables de l'Allemagne. Aussi les constructeurs de ce pays ont-ils admis plusieurs presses ou plusieurs appuis dans les ascenseurs qu'ils ont projetés.

Nous faisons allusion, en ce moment, aux projets élaborés par les constructeurs Hoppe, à Berlin, et Grüson, à Magdebourg, avec le concours de M. Petri, architecte du gouvernement dans cette dernière ville. Des notices sur ces projets d'ascenseurs ont été remises, au Congrès de navigation de Francfort, à tous les membres qui y ont assisté.

Le projet Hoppe comporte deux pistons de 2 mètres de diamètre sous chaque sas; les presses sont soumises à des pressions de 35 à 40 atmosphères et sont combinées de telle sorte que les pistons doivent s'élever mathématiquement de la même manière et dans la même mesure.

L'évaluation de la dépense est de 1 570 000 marks.

1. Système Ruprecht. Décembre 1881. Voir « Centralblatt der Bauverwaltung », n° 4 et n° 7 de 1882.

Système Düer. Voir Ingénieurs civils, année 1883, 2e semestre, p. 396.

C'est sur un autre principe que celui de la balance hydraulique que s'appuie le projet de l'usine Grüson de Magdebourg.

L'appareil projeté se compose d'un seul et unique sas mobile, supporté non plus par des pistons et des presses hydrauliques, mais par des piles métalliques, placées symétriquement entre elles et reposant sur des flotteurs cylindriques à axe horizontal. Ces flotteurs se meuvent de haut en bas dans un encuvement rempli d'eau. C'est une application sur une vaste échelle du principe des aréomètres.

L'ensemble de l'appareil est constamment en équilibre, et une surcharge d'eau sert à vaincre les résistances et à produire le mouvement.

Un avant-projet d'ascenseur, basé sur ce principe, a été présenté en 1879, et pour la première fois, par M. Maus, alors directeur général des Ponts et chaussées de Belgique, comme solution pour franchir la crête de partage, près de Seneff, du canal de Charleroi à Bruxelles. Cet avant-projet a servi de base à un projet complet rédigé par M. Seyrig. Les études de cet ingénieur se trouvent exposées d'une manière fort explicite dans les *Annales des ingénieurs civils*, année 1883.

La seule modification apportée par les constructeurs de Magdebourg, à l'idée émise par les ingénieurs belges, a été de placer les flotteurs horizontalement, alors qu'ils ont été projetés dans une position verticale par MM. Maus et Seyrig.

Les ascenseurs à flotteurs n'exigent qu'un sas, suppriment les presses, les turbines et les grands moteurs, simplifient, en un mot, l'appareil, et coûtent, dès lors, notablement moins. Le projet d'ascenseur de l'usine Grüson, pour bateaux de 1000 tonnes, n'est évalué qu'à une dépense totale de 1165 000 marks.

Dans l'hypothèse où le trafic nécessiterait l'établissement de deux sas, le coût de l'ascenseur Grüson s'élèverait à 1 980 000 marks. Mais, dans ce cas, on aurait deux appareils tout à fait indépendants, fonctionnant séparément, pouvant se suppléer ou se remplacer, ce qui est un avantage précieux.

Faut-il, du reste, deux sas, et l'emploi simultané de ceux-ci n'est-il pas le plus souvent sans utilité pratique et sans nécessité absolue au point de vue du trafic? Comment justifier d'une manière péremptoire, l'utilité de deux sas aux ascenseurs d'un canal dont les écluses sont à un seul passage? N'y a-t-il pas de ce chef une économie à faire? Ce point est important, car si l'on veut mettre la navigation intérieure à même de concourir utilement avec les chemins de fer dans la lutte des transports, il faut, répétons-le, réduire au minimum les dépenses de construction. C'est une nécessité primordiale, importante surtout pour les canaux à profil accidenté, parce qu'il existe pour ceux-ci, *à priori*, des causes d'augmentation de dépenses.

Les ascenseurs doivent être des moyens d'économiser du temps et de l'argent, ou n'ont pas de raison d'être; aussi tous les efforts doivent-ils, à

notre avis, tendre désormais vers un même but : simplifier le mécanisme et réduire notablement les dépenses.

Notes et mémoires publiés sur les ascenseurs hydrauliques.

1. Rapport de M. Düer, présenté à la séance du 21 mars 1876 de la Société des ingénieurs civils de Londres.
2. Minutes of Proceedings Inst. C. Eug. March 21, 1876.
3. Annales industrielles. Cassagnes, directeur. Paris, 1876.
4. Bau und die Betriebsweise eines deutschen Kanalnetzes. V. Bellingrath, Berlin, 1879. Ernst u. Horn.
5. Annales des travaux publics, n° 2, 1880.
6. Kraft, ingénieur en chef de la Société Cockerill, à Seraing-Liège, 1880.
7. Die Wassertrassen Nord Europa's u. Max Maria Freiherr V. Weber. Leipzig, 1881. Wilh. Engelmann.
8. Revue industrielle du 5 octobre 1881. Ascenseur des Fontinettes.
9. Notice sur les élévateurs et plans inclinés, de M. Hirsch, ingénieur en chef des Ponts et chaussées (Imprimerie nationale, 1881, Paris).
10. Centralblatt der Bauverwaltung (n° 4 du 28 janvier et n° 7 du 18 février 1882).
11. M. Edwin Clark. Report upon the accident to the Hydraulic canal Lift at Anderton.
12. M. Cadart, ingénieur des Ponts et chaussées. Note sur l'accident survenu le 18 avril 1882 à l'ascenseur d'Anderton et sur les causes qui l'ont provoqué, suivie de la traduction du rapport publié sur le même sujet, par M. E. Clark.
13. La Compagnie de Fives-Lille. Recherches sur les causes de l'accident d'Anderton (Paris, 23 juin 1882).
14. Note du R. P. van Tricht, publiée dans la *Revue des questions scientifiques*, en juillet 1883.
15. Ernst. Berlin, 1883.
16. Ascenseur hydraulique pour bateaux. Système Edwin Clark, par M. Harrand (Mémoires et comptes rendus des ingénieurs civils, année 1883, p. 286).
17. Les ascenseurs hydrauliques, par Seyrig (Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des ingénieurs civils, 1883, 2e semestre, p. 393).
18. Deux notes de M. Ch. Lagasse, ingénieur en chef, directeur des Ponts et chaussées, publiées dans la *Revue des questions scientifiques*, en avril 1884 et en juillet 1885.
19. Observations sur la construction des ascenseurs hydrauliques, par M. L. Le Chatelier, ingénieur des Ponts et chaussées (Annales des Ponts et chaussées de France, 1er semestre 1885, p. 259).
20. Mémoires de la Société des ingénieurs civils de Paris, année 1885.
21. Note sur les ascenseurs hydrauliques et les plans inclinés, par M. J. van Brunen (Voir dans les mémoires publiés à l'occasion du Congrès international de navigation intérieure, tenu à Bruxelles du 24 mai au 2 juin 1885).
22. Note sur un projet de plan incliné pour bateaux, par J. Jacquier, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, mémoires publiés à l'occasion du congrès international de navigation intérieure tenu à Bruxelles en 1885 (p. 178).

23. Notice relative aux écluses de 4m,20 de chute et à l'ascenseur hydraulique pour bateaux de Houdeng-Goegnies, par M. Génard, ingénieur des Ponts et chaussées, 1888.
24. Notice sur les ascenseurs hydrauliques pour bateaux, par M. Ch. Fréson, ingénieur de la Société Cockerill, 1888.
25. Schleusen und mechanische Schiffshebewerke. Noch einem vortag in dem Centralverein zur Hebung der deutschen Fluss und Kanalschiffart, von Petri, Königlicher Regierungs-Baumeister in Magdeburg. Berlin, 1888.
26. « The Engineer », nos des 21 décembre 1888, 11 janvier 1888, 25 janvier et 15 février 1889.
27. Les Annales des travaux publics (*Revue française*), n° 112, avril 1889 (Paris, 35, rue Le Peletier).

Bruxelles, 20 mai 1889.

DES

ÉLÉVATEURS ET PLANS INCLINÉS

POUR BATEAUX

PAR

M. GUSTAVE CADART
Ingénieur des Ponts et chaussées, à Langres.

DES

ÉLÉVATEURS ET PLANS INCLINÉS

POUR BATEAUX

RAPPORT

DE

M. GUSTAVE CADART

Ingénieur des Ponts et chaussées à Langres.

Introduction.

L'écluse à sas de Visconti a été longtemps le seul appareil employé sur les voies navigables pour faire franchir aux bateaux les dénivellations entre les divers biefs. Cet appareil présente cependant les inconvénients de ne pouvoir racheter que des hauteurs relativement faibles, de consommer une quantité d'eau considérable et de n'utiliser qu'une partie extrêmement petite de la force motrice consommée par la chute de cette eau. Il ne permet pas de tracer dans des conditions satisfaisantes et économiques des canaux traversant des régions accidentées, tant en raison du rapprochement excessif des chutes, qui se traduit par une perte de temps considérable pour les bateaux, que de l'importance de la consommation d'eau qui nécessite une alimentation abondante, laquelle ne peut être obtenue qu'en faisant éviter au tracé, souvent au prix de longs souterrains, toutes les régions élevées où l'eau est rare.

La hauteur de chute d'une écluse est nécessairement très limitée, puisque l'augmentation de cette hauteur entraîne une augmentation proportionnelle de la consommation d'eau et une augmentation beaucoup plus rapide encore du cube des maçonneries du sas et des dépenses de construction. La chute de $5^{m},20$ que présentent les belles écluses que M. l'ingénieur en chef Fontaine vient de construire sur le canal du Centre français est bien proche de la limite pratique qui pourra être atteinte par ce système; encore leur adoption n'a-t-elle été possible qu'en raison de l'alimentation tout à fait exceptionnelle du canal du Centre, car ces écluses comportent une sassée de 1200 mètres cubes et peu de canaux pourraient faire face à une telle dépense d'eau.

Cependant, alors que depuis près d'un siècle les inventeurs de toutes les nations ne cessent de proposer, pour remplacer l'écluse à sas dans les régions accidentées, les systèmes les plus divers s'adaptant aux chutes les plus considérables, ce n'est que depuis peu de mois que les grands bateaux de trois à quatre cents tonnes des canaux français et belges franchissent d'un coup des dénivellations d'une quinzaine de mètres. Comment l'écluse à sas, malgré tous ses inconvénients, a-t-elle pu rester aussi longtemps le seul appareil en usage sur les canaux fréquentés par les bateaux de fort tonnage? C'est que, à côté de ces inconvénients, elle présente des avantages incomparables de simplicité, de rusticité, de facilité de manœuvre et d'entretien. Ces qualités sont capitales pour un appareil qui ne doit donner lieu à aucune interruption de service et qui, le plus souvent, sera abandonné en pleine campagne aux soins d'un agent d'ordre subalterne; elles priment toutes les autres considérations, et il n'est pas téméraire d'affirmer que le développement sur les canaux d'un appareil élévateur n'est possible que si cet appareil réunit à un degré éminent ces qualités de simplicité et de facilité d'entretien et de manœuvre.

Dans l'écluse de Visconti, le sas est fixe, le niveau de l'eau dans le sas varie seul et c'est le mouvement de ce plan d'eau qui effectue l'élévation ou la descente des bateaux. Il n'existe qu'un seul moyen d'éviter l'énorme accroissement de la consommation d'eau et des dépenses de construction avec la hauteur de chute que comporte l'écluse, c'est de rendre le sas lui-même mobile et de le transporter tout entier avec le bateau qu'il renferme du niveau d'un bief à celui de l'autre. Mais le poids d'un sas étant nécessairement considérable, on ne peut guère songer à le mouvoir qu'à la condition de l'équilibrer, de manière à réduire les forces motrices à celles nécessaires pour vaincre les résistances passives qui se développent dans le mouvement d'un lourd système qui se trouvait, lorsqu'il était au repos, dans un état d'équilibre ou dans un état très voisin de celui d'équilibre.

Tous les appareils élévateurs mécaniques qui ont été proposés pour remplacer les écluses reposent donc sur cette double idée : rendre le sas mobile et l'équilibrer; ils ne diffèrent entre eux que par le mode de mouvement et par le mode d'équilibre du sas.

Au point de vue du mode de mouvement, deux grandes divisions peuvent être faites dans les appareils, exécutés ou simplement projetés, qui ont été proposés depuis un siècle environ. Le sas mobile se meut verticalement ou bien il est remorqué sur une rampe. Dans le premier cas, l'appareil est dit ascenseur; dans le second, il reçoit le nom de plan incliné.

Dans les plans inclinés, l'équilibre peut être obtenu en accouplant le sas, au moyen de ses chaînes, câbles ou appareils de remorquage de toute nature, soit avec un autre sas semblable se mouvant à côté de lui et en sens inverse, soit avec un ou plusieurs contrepoids.

Dans les ascenseurs, l'équilibre peut être obtenu ou bien en fixant le

sas sur un ou plusieurs flotteurs complètement immergés dans de vastes puits remplis d'eau, dont le déplacement soit égal au poids de l'ensemble du sas et des flotteurs; l'appareil peut être alors appelé ascenseur flottant; ou bien en faisant jouer au sas le rôle de l'un des plateaux d'une immense balance, un second sas semblable ou des contrepoids jouant le rôle de l'autre plateau.

Si la balance est hydraulique, c'est-à-dire si les deux sas s'équilibrant sont supportés chacun par le plongeur d'une presse hydraulique ou par les plongeurs d'un certain nombre de presses hydrauliques, les presses supportant l'un des sas communiquant par une tuyauterie avec celles supportant l'autre, l'ascenseur sera dit hydraulique. (Comme variante de ce système, l'un des sas pourra être remplacé par une ou plusieurs caisses lestées coiffant les plongeurs, et on aura alors l'ascenseur hydraulique à sas unique équilibré par un ou plusieurs accumulateurs contrepoids). Suivant que les deux sas, qui s'équilibrent, se mouvront côte à côte ou qu'ils seront placés en des points différents du tracé du canal, de manière à racheter deux chutes égales et successives du profil en long, l'ascenseur hydraulique sera à deux sas par chute ou à sas unique par chute.

Si la balance est aérienne, c'est-à-dire si chacun des sas repose sur la toiture d'un immense gazomètre plein d'air se mouvant dans une fosse remplie d'eau, les deux gazomètres communiquant entre eux par une tuyauterie, l'ascenseur pourra être appelé aérien.

Si enfin le sas est suspendu à des câbles ou à des chaînes passant sur des poulies de renvoi supérieures et attelées, de l'autre côté de ces poulies, à un autre sas semblable ou à des contrepoids, dont le mouvement soit inverse de celui du premier sas, l'ascenseur est funiculaire.

Parmi les systèmes qui ont été proposés, un seul échappe à la classification qui précède, par la raison qu'il ne comporte point l'équilibre du sas; c'est celui qui consiste à remorquer, à l'aide de locomotives plus ou moins nombreuses, un sas mobile contenant un bateau ou un navire à flot sur une véritable voie ferrée à faibles déclivités de plusieurs kilomètres de développement. Le canal, ou tout au moins la partie du canal qui aurait à traverser une région montagneuse et difficile, serait ainsi remplacé par un chemin de fer d'un genre spécial.

Des solutions de cette nature ont été proposées pour résoudre certaines questions particulières, telles que le transport de navires entre deux mers séparées par un isthme étroit; mais, par leur nature même, qui consiste à substituer sur une grande longueur, voire même, le plus souvent, sur toute l'étendue à franchir, un chemin de fer à un canal, ces solutions sortent complètement du cadre de cette étude, qui n'a pour objet que l'examen critique des appareils aptes à remplacer l'écluse lorsque, en raison de l'importance et du rapprochement des chutes, celle-ci présente de graves inconvénients. Ces systèmes ne seraient plus les équivalents d'écluses à grande chute, mais bien, dans certains cas tout particuliers,

les équivalents de canaux de navigation tout entiers. Ils soulèvent dès lors des questions multiples qui ne sauraient être examinées ici, notamment celle du prix du transport, qui n'a plus rien de commun avec celui du halage des bateaux; ils doivent donc être, à tous égards, laissés en dehors de la présente étude.

Tous les appareils énumérés ci-dessus ont fait à des époques diverses l'objet de projets plus ou moins complets; trois seulement ont été exécutés pour des bateaux de faible tonnage : le plan incliné, l'ascenseur funiculaire et l'ascenseur hydraulique; un seul, l'ascenseur hydraulique, a été jusqu'ici construit pour les grands bateaux de trois ou quatre cents tonnes des canaux français ou belges.

La préférence, donnée simultanément en France et en Belgique à l'ascenseur hydraulique sur tous les autres systèmes proposés, est-elle justifiée par la nature même de ces systèmes? L'ascenseur hydraulique, s'il est réellement le meilleur appareil et celui auquel on doit s'arrêter, paraît-il susceptible de perfectionnements immédiats qui augmentent sa sécurité ou qui en diminuent le prix?

Telles sont les deux questions qui seront successivement examinées dans ce rapport.

Comparaison entre les divers appareils qui ont été proposés pour faire franchir de grandes chutes à des bateaux de trois cents tonnes.

Les premiers plans inclinés, qui ont été construits pour des bateaux de petites dimensions, comportaient l'échouage du bateau sur un chariot convenablement disposé et son transport à sec. Le plan incliné de Blackhill ne transporte que de petits bateaux lèges partiellement échoués; celui de Georgetown, que des bateaux chargés de 135 tonnes à sec ou des bateaux lèges à flot ou partiellement échoués. Aucun plan incliné existant ne reçoit de bateaux chargés à flot.

L'échouage à sec est acceptable pour des bateaux de dimensions petites ou moyennes, à la double condition que ceux-ci soient construits avec la plus grande solidité et que le canal ne soit fréquenté que par des bateaux présentant tous le même gabarit. Ces conditions, qui se trouvent réunies sur les canaux Morris, de l'Oberland prussien, Monkland, de Chesapeake et Ohio, sont tellement restrictives qu'elles ne peuvent être admises sur les canaux de l'ouest de l'Europe, qui sont généralement des voies de communication construites par les États et ouvertes librement à tous les bateaux, sous la seule réserve que leurs dimensions ne dépassent pas certaines limites fixées par les règlements. Ces canaux sont fréquentés par des bateaux présentant les tonnages les plus divers, les formes les plus

ressemblables, et les plus nombreux sont ceux qui sont construits avec la moindre solidité. Les péniches flamandes chargées ne pourraient, pour la plupart, supporter le moindre commencement d'échouage sans que leurs parois cèdent sous le poids du chargement. Tout échouage, même partiel, est d'ailleurs impossible dès l'instant où le canal admet des bateaux de tous gabarits, puisque le chariot transporteur ne peut leur offrir qu'une forme unique. Tout appareil comportant une mise à sec totale ou partielle doit donc être rejeté *a priori* lorsqu'il s'agit des canaux français, belges ou hollandais. La disposition imaginée par M. Bellingrath, consistant à remplacer la pression de l'eau sur les parois du bateau échoué par celle des têtes de nombreux pistons de presses hydrauliques, ne peut non plus y être admise; elle est à la fois insuffisante et trop complexe; elle manque absolument de la simplicité et de la facilité de manœuvre indispensables aux appareils de cette nature; elle ne se prêterait d'ailleurs à de grandes différences de gabarit qu'au prix de complications inadmissibles, et elle mettrait la sécurité de la conservation du bateau à la merci de la moindre fausse manœuvre. Il n'existe qu'un moyen simple et vraiment pratique d'exercer sur les parois d'un bateau des pressions égales à celles que l'eau exerce sur lui lorsqu'il est immergé, c'est de le laisser à flot, et nulle autre solution ne saurait être acceptée dans un appareil qui doit pouvoir remplacer les écluses.

Les appareils mécaniques transportant à flot des bateaux de trois à quatre cents tonnes dans des sas mobiles devront encore, quel que soit leur système, satisfaire à une autre condition. Toute immersion partielle des sas à un instant quelconque du mouvement devra être absolument proscrite, car elle détruit l'équilibre et exige, pour la période du mouvement où cet équilibre n'existe plus, le déploiement d'une force motrice considérable, qui fait perdre à l'appareil deux de ses principaux avantages : l'économie d'eau et la bonne utilisation de la force consommée. Ces appareils ne devront donc présenter ni *summit plane* comme les plans inclinés des canaux Morris et de l'Oberland, ni bassin inférieur d'immersion tel qu'il s'en trouve à la fois dans ces derniers, dans les plans inclinés de Blackhill et de Georgetown et dans l'ascenseur hydraulique d'Anderton. Dans les plans inclinés, le sas devra venir s'appuyer aux extrémités de sa course contre les têtes des biefs amont et aval terminées par des portes mobiles et former joint étanche avec ces têtes. Dans les ascenseurs, le sas devra, au bas de sa course, descendre dans une cale sèche établie dans le prolongement du bief aval.

Ces caractères généraux à tous les appareils admis, il est facile de se rendre compte des dispositions d'ensemble de chacun des systèmes proposés pour remplacer les écluses à grande chute.

Les magnifiques ascenseurs de la Louvière et des Fontinettes, qui font le plus grand honneur à l'éminent ingénieur anglais, M. Edwin Clark, sont déjà trop connus pour qu'il soit utile de les décrire, même sommairement.

Il suffira de remarquer que, dans ce système où le guidage des sas joue un rôle si important en raison de l'élévation considérable du centre de gravité au-dessus des points d'appui, les guides principaux doivent nécessairement être placés au milieu de la longueur du sas et non aux extrémités, comme ils l'avaient été à Anderton, afin de permettre aux guides de ne laisser au sas qu'un jeu excessivement petit, ce qui ne peut se faire lorsque les guides sont aux extrémités, à cause de la nécessité de laisser s'effectuer librement la dilatation des tôles du sas. On doit remarquer, en outre, qu'un ascenseur du système de la Louvière ou des Fontinettes peut livrer passage simultanément, par une seule manœuvre, à deux bateaux traversant le canal en sens inverse, qu'il est l'équivalent, non d'une écluse à grande chute, mais bien plutôt de deux écluses accolées latéralement, qu'il offre, en un mot, un double passage aux bateaux. Si un canal présentait, sur une faible longueur, une très forte chute et si la circulation n'y devait pas être tellement active que les écluses y dussent être doubles, rien n'empêcherait de fractionner cette chute en deux parties égales séparées par un bief court et de racheter ces deux chutes partielles par les deux sas d'un même système s'équilibrant entre eux. Il n'y aurait alors qu'un seul sas à chaque chute partielle, les presses des deux sas communiquant entre elles par une conduite longitudinale, et rien ne serait changé aux conditions de l'équilibre si l'on avait la précaution de charger le sas de la chute inférieure d'un lest permanent égal au poids d'un cylindre d'eau ayant pour base la section du plongeur et pour hauteur la course commune des sas. Cette idée, due également, comme celle des ascenseurs hydrauliques, au génie de M. Edwin Clark, peut permettre, dans certains cas particuliers, la réalisation d'importantes économies de construction.

L'ascenseur funiculaire pour bateaux de 300 tonnes, dérivé de l'élévateur du Great-Western canal, peut se concevoir soit, comme l'a imaginé M. James Leslie, sous la forme d'un sas mobile dont chacune des parois latérales est suspendue par une douzaine de chaînes à de grandes poulies de renvoi supérieures calées sur un même arbre et portées par un nombre égal de pylônes métalliques, les extrémités extérieures des chaînes supportant des caisses lestées se mouvant sur les côtés du sas et en sens inverse, soit, comme l'a imaginé M. Barret, sous celle de deux sas, placés côte à côte dans un immense bâtiment, et suspendus à une plate-forme supérieure, portée par les murs latéraux de ce bâtiment, par des poulies fixées au milieu d'anses établies au-dessus des sas à une hauteur suffisante pour laisser libre la hauteur nécessaire au chargement des bateaux, au moyen de chaînes partant de points fixes de la plate-forme, descendant une première fois pour embrasser les poulies fixées aux anses du premier sas, remontant ensuite, embrassant les poulies calées sur l'arbre de commande du mouvement, placé au-dessus du premier sas, courant horizontalement au-dessus de la plate-forme jusqu'à d'autres poulies, celles-ci folles sur leur arbre, placées au-dessus du second sas, pour, de là, redescendre une

seconde fois, embrasser les poulies des anses du second sas et venir se terminer à des points fixes de la plate-forme supérieure.

Ce qui a été dit plus haut des plans inclinés, de l'ascenseur aérien, imaginé par M. Godfernaux, et de l'ascenseur flottant, dont l'idée, qui remonte à l'année 1794, époque à laquelle elle faisait en Angleterre l'objet d'un brevet d'invention, a été reprise récemment par M. Seyrig, donne de ces divers systèmes une idée suffisante pour permettre de se figurer quelles seraient leurs dispositions essentielles si on les construisait de manière à transporter des bateaux de 300 tonnes. Il suffira de remarquer : 1° que, dans tous les systèmes dont il vient d'être question, un seul excepté, la force motrice consiste dans l'addition à l'eau du sas qui est au haut de sa course d'une couche d'eau additionnelle dont le poids, légèrement supérieur aux résistances passives, produit le mouvement; il n'y a d'exception que pour l'ascenseur flottant de M. Seyrig, qui est établi de manière à ce que le poids du sas plein et des flotteurs soit un peu supérieur au déplacement de ces flotteurs et où les mouvements d'ascension et de descente du sas sont produits par l'introduction d'eau comprimée à une très faible pression dans une presse hydraulique verticale placée sous le centre du sas et par l'évacuation progressive de cette eau comprimée; et 2° que les sas mobiles des plans inclinés peuvent être supportés soit par des patins hydrauliques du système Girard, glissant sur des rails *ad hoc*, comme l'ont proposé MM. Thomasset, Vollot et compagnie, soit, comme cela a été proposé le plus généralement, par des roues roulant sur des rails en acier.

MM. Gonin et Huc-Mazelet ont proposé un système particulier de plan incliné dans lequel la traction funiculaire est supprimée. Le sas, porté par des roues, est poussé à l'arrière par un tampon relié d'une manière rigide au piston d'une sorte de presse hydraulique qui consiste en un gros tube longitudinal, appelé propulseur, couché sur le plan incliné et fendu sur toute sa longueur à sa partie supérieure pour laisser passer la barre reliant le piston qui est à l'intérieur du tube au tampon qui est à l'extérieur. La fente longitudinale du tube est fermée, en arrière du piston, par une soupape d'un genre particulier, sur le degré d'étanchéité de laquelle on ne paraît pas être encore très bien fixé. L'équilibre peut être réalisé soit par un second sas se mouvant parallèlement au premier et actionné par un propulseur semblable, si l'on veut réaliser un passage double, soit, si l'on se borne à un passage simple, par un ou plusieurs accumulateurs contrepoids. Dans ce dernier cas, la force motrice consiste en un lest d'eau additionnel qui peut être introduit dans des cuves portées par les accumulateurs.

Un premier point qu'il convient de mettre en relief, c'est que les appareils, qui viennent d'être sommairement rappelés, comportent tous, quel que soit leur système, s'ils sont construits rationnellement, une même durée du sassement et que cette durée est la même que celle du passage dans une écluse ordinaire de chute moyenne. Si des différences notables

ont été constatées, à l'ascenseur des Fontinettes notamment, cela tient à des circonstances particulières ou à des imperfections, inévitables dans un premier essai, qui sont tout à fait étrangères au principe même de l'appareil, par exemple à une insuffisance des dimensions intérieures des sas mobiles, à l'existence, immédiatement en amont de l'ascenseur, d'un pont-canal que le bateau montant doit parcourir sur toute sa longueur avant que le bateau avalant ne puisse s'engager à son tour, ce qui augmente considérablement le temps employé par les bateaux pour sortir du sas et y entrer.

Mais il n'est nullement nécessaire de placer un pont-canal immédiatement en amont d'un ascenseur; un remblai et un mur de soutènement seront même généralement plus économiques. Il n'y a absolument de raison d'aucune sorte qui s'oppose, quel que soit l'appareil élévateur considéré, à ce que le sas mobile reçoive sensiblement les mêmes dimensions intérieures (ou des dimensions qui assurent une section mouillée équivalente) que le sas fixe d'une écluse et à ce que les abords de l'ouvrage soient disposés identiquement comme ceux d'une écluse ordinaire; il n'y a donc pas de raison pour que, dans un appareil élévateur bien construit, le temps nécessaire à l'entrée et à la sortie des bateaux soit différent de ce qu'il est dans une écluse. Le temps nécessaire à l'amarrage du bateau, à l'ouverture ou à la fermeture des portes, est aussi exactement le même. Il ne reste donc à comparer que la durée du mouvement du sas mobile d'un appareil élévateur à celle du remplissage ou de la vidange d'un sas d'écluse, laquelle varie sur nos canaux, suivant que la ventellerie est plus ou moins ingénieusement disposée, entre trois et six minutes. Or, on s'accorde généralement pour adopter, dans les élévateurs verticaux, une vitesse moyenne comprise entre $0^m,05$ et $0^m,10$ par seconde et, dans les plans inclinés, une inclinaison voisine de 1/10 et une vitesse moyenne de $0^m,50$ à 1 mètre par seconde. La durée du mouvement du sas d'un élévateur rachetant une chute de 18 mètres sera donc également comprise entre 3 et 6 minutes. Au surplus, une différence d'une ou deux minutes en plus ou en moins sur la durée du mouvement n'a guère d'importance par rapport à la durée totale du sassement.

Il n'y a donc, au point de vue de cette durée, aucune différence à établir entre les divers systèmes d'élévateurs, non plus qu'entre eux et l'écluse ordinaire; la durée du sassement, dont l'élément principal est le temps nécessaire à l'entrée et à la sortie des bateaux, dépend principalement des dimensions intérieures du sas et de la disposition des abords, et elle est à peu près indépendante du principe de l'appareil.

La durée du sassement ne sera donc pas un des éléments de la comparaison entre les divers systèmes.

Une comparaison de cette nature est bien difficile à établir d'une manière générale. Dans tel ou tel cas particulier, spécialement lorsqu'il s'agit de rectifications partielles à exécuter sur des canaux existants, des circon-

stances de toute nature, la disposition des lieux, la pente du terrain, la hauteur de la chute, feront préférer *a priori* un appareil à un autre.

On pourra quelquefois avoir une préférence pour le plan incliné, parce qu'il est susceptible de racheter d'un seul coup une chute beaucoup plus importante qu'un élévateur vertical.

Une comparaison entre les systèmes, présentée d'une manière générale, ne peut donc offrir le même degré de précision que si elle s'appliquait à un cas déterminé. Il est néanmoins certaines considérations générales, basées uniquement sur le principe même des appareils, qu'il peut être utile d'exposer, en vue surtout des canaux projetés, pour lesquels aucun tracé n'est imposé et où il est, par suite, possible de disposer les chutes de la manière qui convient le mieux à chaque système.

La comparaison portera principalement sur les cinq points suivants :

1° Répartition du poids du sas mobile sur les appuis et maintien de l'horizontalité du sas;
2° Sécurité;
3° Consommation d'eau ou de force motrice;
4° Simplicité, rusticité, facilité d'entretien et de manœuvre;
5° Dépenses d'établissement et d'entretien.

1° *Répartition du poids du sas mobile sur les appuis et maintien de l'horizontalité du sas.* — Le poids d'un sas de 800 à 1000 tonnes roulant ou glissant sur un plan incliné doit nécessairement être réparti sur de nombreux appuis, 116 à 144, la charge portée par chaque roue ou patin ne pouvant guère dépasser 7 tonnes, et il est indispensable que l'égalité de répartition de cet immense poids sur un aussi grand nombre d'appuis soit assurée d'une manière durable et permanente, nonobstant les déformations élastiques de la voie.

C'est là une des graves difficultés que rencontre la question de l'amplification du système des plans inclinés aux bateaux de 300 tonnes transportés à flot.

On a proposé, en même temps que l'établissement de la voie sur des longrines ancrées dans une plate-forme en maçonnerie sous-jacente pour en diminuer la flexibilité, d'assurer la répartition du poids par des ressorts convenablement réglés ou par de petites presses hydrauliques, en nombre égal à celui des supports, communiquant entre elles et avec des accumulateurs portés par le sas mobile au moyen de tuyauteries (MM. Thomasset, Vollot et Cie). Le premier de ces moyens paraît insuffisant; le second entraîne une complication véritablement effrayante, et il semble qu'un appareil comportant 144 presses hydrauliques et les tuyauteries qui les desservent s'éloigne à un point tel des conditions de simplicité, de rusticité et de facilité d'entretien qui doivent être recherchées avant tout, qu'il n'y a guère de chance de le voir jamais admettre dans la pratique courante.

La seule des solutions proposées qui résolve la question d'une manière satisfaisante est celle de M. l'ingénieur en chef Peslin, qui consiste à fractionner le sas mobile, dans le sens de sa longueur, en un certain nombre de segments indépendants portés chacun par quatre trucs de quatre roues chacun, les joints entre les segments étant faits de façon à demeurer étanches malgré les mouvements relatifs de faible amplitude de deux segments voisins. Cette solution comporte nécessairement l'attelage des câbles ou chaînes de traction sur le segment d'aval, tous les autres segments devant être poussés ou retenus par lui.

M. l'ingénieur en chef Fontaine a exprimé la crainte que cette grande flexibilité donnée au sas n'aggravât les irrégularités de la traction et de la marche du sas plein d'eau, en rendant irrégulière la tension des câbles.

A cette première objection, nous nous permettrons d'en ajouter une seconde : tout sas se mouvant sur un plan incliné doit être muni de freins très puissants ; M. Peslin a proposé de doter le sas de freins Westinghouse. Si l'action de ces freins ne s'exerçait que sur les seize roues du segment d'aval, elle serait notoirement insuffisante ; elle devra donc s'exercer sur l'ensemble des roues de tous les segments, mais alors un segment quelconque pourra être immobilisé par le serrage des freins un instant avant celui qui se trouve au-dessous de lui, et il en résultera une ouverture du sas par laquelle l'eau s'écoulera.

La très ingénieuse idée de M. Peslin est la première qui résolve convenablement la question de répartition d'un poids considérable sur un grand nombre d'appuis, et à ce seul titre elle doit être considérée comme réalisant un progrès important; mais, en ce qui concerne les plans inclinés pour bateaux, elle ne suffit probablement pas à elle seule et plusieurs difficultés restent encore à résoudre.

L'égale répartition des tensions des différentes chaînes de suspension d'un ascenseur funiculaire présente également de très grandes sujétions.

Si le sas est équilibré par un certain nombre de contrepoids suspendus chacun à une chaîne, si tous ces contrepoids sont entièrement isolés les uns des autres et si toutes les poulies de suspension sont folles sur leur arbre, l'égalité de tension de toutes les chaînes est assurée, il est vrai, d'une manière complète; mais alors rien ne garantit plus le maintien de l'horizontalité du sas ; de plus, si une chaîne venait à se rompre, le contrepoids qu'elle supportait tomberait et l'équilibre serait entièrement rompu ; il y aurait à la fois chute et déversement du sas ; enfin, ce système exclut la combinaison comportant deux sas par chute s'équilibrant l'un l'autre.

Si, au contraire, le sas est équilibré, soit par un autre sas semblable, soit par des contrepoids solidaires les uns des autres, et si toutes les poulies de suspension sont calées sur un même arbre, l'horizontalité du sas est entièrement garantie ; dans le cas où une chaîne se romprait, la tension des chaînes voisines serait augmentée, sans que l'équilibre de l'ensemble du système ne fût détruit; mais, en revanche, rien n'assure plus l'égalité

de tension des chaînes ; or, sur des chaînes aussi longues, il suffit de la plus faible déformation permanente, de la moindre imperfection de fabrication pour que, sans que rien dans l'aspect de l'appareil ne puisse le laisser supposer, quelques-unes des chaînes et quelques-unes des encoches des poulies à empreintes correspondantes supportent, à certains moments, la presque totalité des efforts et pour que ces chaînes ne soient alors tendues à la limite extrême de leur résistance. Un seul ingénieur, feu M. Barret a, à notre connaissance, cherché à sortir de cette difficulté, de cette sorte d'incompatibilité qui paraît exister entre l'assurance d'une égale tension des chaînes et la garantie de l'horizontalité du sas ; mais il n'y est parvenu qu'en proposant de suspendre les extrémités des chaînes non à des points fixes, mais à des pistons de presses hydrauliques permettant de vérifier et de rétablir, aussi souvent qu'on le voudrait, l'égale tension des chaînes ; et c'est là une complication qui doit être considérée comme inacceptable dans un appareil dont les qualités essentielles, on ne saurait trop le répéter, doivent être la simplicité, la facilité d'entretien et de manœuvre.

M. Seyrig doit aussi compter, bien qu'à un degré moindre, avec la difficulté de répartir également le poids du sas sur les divers flotteurs qui le supportent ; une fuite dans l'un des flotteurs, dont on ne s'apercevrait pas immédiatement, conduirait rapidement à des efforts auxquels le guidage ne pourrait résister et à un accident grave.

Seuls, les systèmes qui ne comportent qu'un appui unique, l'ascenseur hydraulique à une seule presse et l'ascenseur aérien de M. Godfernaux, évitent complètement les difficultés si graves que rencontre la réalisation d'une égale répartition du poids du sas sur des appuis multiples.

Pendant longtemps, la plupart des ingénieurs ont mis en doute la possibilité de supporter par une presse unique à course étendue un poids de 800 à 1000 tonnes, et quelques-uns d'entre eux ont cherché des combinaisons permettant de faire porter par plusieurs presses les sas des ascenseurs hydrauliques ; ils se sont trouvés alors aux prises, comme les auteurs de projets de plans inclinés et d'ascenseurs funiculaires, avec la difficulté de l'égale répartition des charges qui se traduisait, dans ce cas, par celle d'assurer une concordance absolue dans la marche des plongeurs, concordance qu'il fallait pouvoir maintenir malgré les inégalités inévitables dans le serrage des presse-étoupes et malgré des fuites possibles dans le presse-étoupes de l'une des presses, difficulté qui était d'autant plus grande que l'eau du sas devait nécessairement se porter du côté le plus bas, dans la région supportée par le plongeur qui aurait pris le plus de retard. Une première proposition de M. Sydengham Duer, qui projeta, en vue de l'ascenseur des Fontinettes, un sas supporté par quatre presses, rencontra la plus vive opposition, et l'on doit reconnaître que plusieurs des nombreuses objections qui lui furent faites avaient une haute valeur. Plus tard, un éminent collaborateur de MM. Clark, M. Standfield, puis M. Le

Chatelier, émirent l'idée de suspendre le sas, comme un panier, à un grand chevêtre transversal supérieur placé au milieu de sa longueur et supporté à ses deux extrémités par les plongeurs de deux presses hydrauliques placées latéralement au sas.

Cette idée fut accueillie avec plus de faveur que celle de M. Duer, bien que beaucoup de bons esprits aient continué à penser qu'il vaudrait mieux, s'il fallait recourir à des presses multiples, les placer toutes sous le centre même du sas en faisant agir tous les plongeurs sur un chapiteau extrêmement rigide sur lequel le sas serait posé, et cela par la double raison que, plus les presses seront rapprochées, plus faibles seront les différences entre les pressions de l'eau dans chacune d'elles dans le cas où une fuite importante se produirait dans l'une, et plus grand sera l'excès de charge que le chapiteau rigide exercera sur le plongeur le plus élevé, pour une même avance de ce plongeur sur ses voisins.

Si, dans l'avenir, l'occasion se présente de projeter des ascenseurs hydrauliques, non plus pour de simples bateaux de canaux, mais pour de grands bateaux de rivière ou pour des navires, l'étude des difficiles questions que soulève la multiplicité des presses devra être reprise ; mais il est aujourd'hui prouvé, par la construction des ascenseurs des Fontinettes et de la Louvière, qu'il n'est pas nécessaire de l'aborder pour les canaux : le sas mobile de la Louvière pèse, avec son plongeur, 1050 tonnes, et il ne repose que sur une seule presse qui a pu supporter aux essais des efforts atteignant presque huit fois ceux auxquels elle doit résister en service normal. La presse unique constitue la solution simple par excellence, la seule qui échappe aux objections nombreuses qui peuvent être faites á toutes les autres combinaisons touchant la simultanéité de la marche des plongeurs et les conséquences d'une fuite importante, objections dont il est souvent si difficile d'apprécier *a priori* l'exacte valeur.

2° *Sécurité.* — La traction funiculaire ne peut donner une sécurité complète. Elle tombe, pour cette raison, de plus en plus en défaveur dans les exploitations minières ; le fait que des ruptures se sont produites dans un grand nombre d'installations funiculaires ne permet plus de ne pas prévoir, comme une chose toujours possible, la rupture d'un câble.

Les freins à linguet en usage sur les plans inclinés pour bateaux existants, ont toujours, en cas de rupture de câble, été trouvés insuffisants ; ils n'ont jamais évité à Georgetown la chute du sas. Il serait, croyons-nous, téméraire d'affirmer, sans expérience préalable, que des freins Westinghouse ou des freins d'un système analogue (dont le fonctionnement supposerait d'ailleurs l'établissement d'une machinerie sur le sas mobile lui-même) puissent arrêter un sas sur une pente du dixième, quel que soit l'état atmosphérique.

Le sas fût-il arrêté cependant par les freins, il le serait, en cas d'accident, avec trop de brusquerie ; le bateau pourrait rompre ses amarres,

continuer son mouvement en vertu de la vitesse acquise et défoncer la porte d'aval; si les amarres résistaient, l'eau tout au moins serait projetée hors du sas et laisserait échouer le bateau.

En marche normale, il n'est même pas certain que les variations de vitesse inévitables au départ et à l'arrivée puissent être effectuées avec une douceur suffisante pour éviter dans le sas des vagues dangereuses pour le bateau.

Si le sas est porté par des patins de glissement du système Girard (système dont l'essai n'a peut-être pas été fait d'ailleurs sur une échelle assez grande pour donner une confiance suffisante dans le parfait fonctionnement d'un plan incliné dont les sas seraient portés par des patins de ce genre), la suppression de l'arrivée de l'eau sous les patins arrêtera nécessairement le sas; mais elle l'arrêtera brusquement, et les inconvénients qui viennent d'être signalés touchant la possibilité de projection de l'eau et du bateau subsisteront. Ces derniers inconvénients ne seront pas évités non plus, en cas d'arrêt brusque du sas, dans l'appareil de MM. Gonin et Huc-Mazelet.

En ce qui concerne cet appareil, il est d'ailleurs absolument certain *a priori* qu'un propulseur, qui n'est autre qu'une presse hydraulique fendue suivant une génératrice, ne peut présenter à beaucoup près la même sécurité qu'une presse continue entièrement fermée, et l'accident d'Anderton n'a que trop bien montré combien il fallait se défier des presses percées de larges orifices et, à plus forte raison, de presses complètement fendues. Le défaut d'étanchéité de la soupape du propulseur peut en outre, s'il n'y est remédié, provoquer dans la marche les plus fâcheuses irrégularités. Enfin, les conditions de résistance de la presse qui constitue le propulseur seront d'autant plus défectueuses que l'axe du tampon exerçant la poussée sur le sas est beaucoup au-dessus de l'axe du piston, et qu'il sera bien difficile d'éviter le coincement de ce piston dans la presse.

Dans les ascenseurs funiculaires, il n'est pas permis non plus de ne pas compter avec la possibilité de la rupture d'une chaîne, surtout si l'on a égard à la difficulté de réaliser l'égalité de tension de tous les brins et à celle de s'apercevoir que l'un d'eux supporte un effort excessif et dangereux; ces appareils n'offrent donc pas non plus une complète sécurité.

L'ascenseur aérien n'a jamais été étudié d'une manière suffisante; il n'a encore été qu'esquissé à grands traits par M. Godfernaux. Nous ne pouvons savoir ce qu'il deviendrait si l'habile ingénieur, qui en a conçu l'idée, s'appliquait à en étudier les détails et à y apporter les nombreux perfectionnements qu'il est sans doute susceptible de recevoir; mais nous devons dire que, tel qu'il résulte de l'avant-projet très sommaire que nous avons eu sous les yeux, il n'est susceptible d'aucune application et qu'il n'assure aucune sécurité. Les sas, portés par des matelas d'air éminemment élastiques, dont on ne pourrait commander le mouvement par aucun

organe rigide, seraient exposés à des mouvements oscillatoires extrêmement dangereux et tout à fait inadmissibles. Par exemple, lorsqu'un sas serait au haut de sa course et recevrait la couche d'eau additionnelle, cette eau, en se propageant sur la longueur du sas, provoquerait des oscillations de rotation en même temps que son poids provoquerait un commencement de descente du sas accompagné d'oscillations de translation verticale. De plus, on ne voit pas par quel moyen les sas pourraient être immobilisés pendant l'introduction de la surcharge dans le sas qui est en haut ni pendant son évacuation du sas qui est en bas, puisque les variations de la pression de l'air que provoqueraient les variations de poids des sas supposent nécessairement un changement de volume de cet air.

Enfin, les guidages doivent descendre jusqu'au fond de la fosse, qui a une profondeur un peu supérieure à la hauteur de chute et est creusée en entier en contre-bas du fond du bief aval; la hauteur de ces guidages est donc plus que double de celle des autres systèmes, ce qui est un bien grave inconvénient, puisque le bras de levier, à l'extrémité duquel agiront les réactions du sas lorsqu'il sera en haut de sa course, sera plus que doublé. Le système, en raison de l'énorme surface de la fosse à creuser, de la nécessité de descendre les guidages au fond de cette fosse et de l'importance du volume d'air à faire passer, à chaque opération, d'un gazomètre dans l'autre, ne saurait d'ailleurs, même s'il était perfectionné et rendu acceptable, être appliqué qu'à des chutes relativement petites et, dans le cas d'accouplement des deux sas de deux chutes égales successives, qu'à des chutes partielles extrêmement rapprochées l'une de l'autre.

M. Seyrig, dans son projet d'ascenseur flottant, a su éviter le danger des oscillations du sas en lui donnant un poids un peu supérieur au déplacement des flotteurs et en commandant son mouvement par une presse hydraulique à faible pression. La sécurité qui résulte de cette combinaison est, sans doute, assez grande; elle est moindre cependant que celle des ascenseurs hydrauliques à presse unique, d'abord parce qu'il y a, sans compter le plongeur de la presse, quatre supports principaux formés par de grandes tours flottantes et qu'une fuite d'eau dans l'une d'elles peut détruire l'égalité de répartition des charges et ensuite parce que le guidage, qui s'exerce sur les tours flottantes, est beaucoup moins parfait que celui des ascenseurs hydrauliques, puisqu'il n'est point placé au centre et doit ménager les jeux de dilatation et aussi parce qu'il est bien difficile d'établir dans quatre puits différents des guidages qui soient entre eux en parfaite concordance.

L'accident survenu le 18 avril 1882 à l'ascenseur hydraulique d'Anderton a pu faire croire un instant que la presse hydraulique ne constituait pas, elle non plus, un support dans lequel on dût avoir une entière confiance. Mais les études dont cet accident a été le point de départ ont conduit à construire des presses à grande course dont la résistance défie toute critique. L'accident du 18 avril 1882 a été causé d'ailleurs par des imperfections

de construction de l'élévateur d'Anderton qui ne se reproduisent plus dans les appareils nouveaux : dimensions trop grandes de la tubulure de la conduite d'accouplement, système défectueux du mode de support de la presse qui reposait, par sa base, sur une charpente en bois pouvant fléchir en même temps qu'elle était suspendue au couronnement du puits par les nervures de sa virole supérieure et par la conduite d'accouplement, jeu trop grand des guidages placés aux angles, superposition de deux presse-étoupes séparés par une logette, etc... Enfin, les corps de presse, entièrement en fonte, n'avaient été éprouvés qu'à une pression de 46 kilogrammes par cm^2, alors que la pression de service était de 37 kilogrammes. Aucun rapprochement n'est possible entre ces presses et celles des Fontinettes et de la Louvière. Ces dernières, formées de viroles en fonte de $0^m,10$ d'épaisseur entourées de frettes jointives en acier de $0^m,05$ d'épaisseur, posées à chaud avec un embattage de $0^m,00055$, dans lesquelles il n'existe aucune tubulure pour la pénétration de la conduite d'accouplement, cette pénétration se faisant entre deux viroles au moyen du collecteur distributeur circulaire imaginé par la société Cockerill, ont pu subir des épreuves réellement surprenantes : alors que la pression maxima de service est de 34 atmosphères, toutes les viroles sans exception et tous les joints ont été essayés sous une pression de 80 atmosphères. La virole frettée essayée à outrance n'a donné de déformations permanentes que sous une pression de 180 atmosphères, et elle ne s'est rompue que sous une pression de 265 atmosphères, égale à 7,8 fois la pression maxima de service. Encore cette rupture n'a-t-elle consisté qu'en une déchirure de la fonte suivant une génératrice du cylindre, les frettes en acier demeurant absolument intactes, et n'a-t-elle donné lieu qu'à une fuite insignifiante qui n'aurait pu se traduire, si la virole avait fait partie d'une presse en service, que par une descente lente du sas, sans aucun accident grave.

Dans les constructions en métal de toute nature, on considère que la sécurité la plus absolue est réalisée lorsque l'effort que supporte le métal est égal au sixième de celui qui produit la rupture; depuis quelque temps on admet même, d'après les lois de Wöhler, que, lorsque l'effort est constant, cette sécurité complète correspond à un effort atteignant les vingt-huit centièmes de celui qui produit la rupture.

Comment caractérisera-t-on alors la sécurité donnée par les presses de la Louvière dans lesquelles l'effort constant supporté par le métal n'est que les treize centièmes de celui qui produit la rupture soit moins de la moitié de celui admis par Wöhler, et dans lesquelles, en outre, la rupture se produit de telle manière qu'elle ne causerait point de catastrophe?

3° *Consommation d'eau ou de force motrice.* — Dans tous les appareils élévateurs, les résistances varient pendant le mouvement, par suite du déplacement du centre de gravité de l'eau des presses dans les ascenseurs hydrauliques et dans l'appareil de M. Gonin, de la perte de poids que

subissent, dans l'ascenseur flottant, les charpentes par l'intermédiaire desquelles le sas repose sur les tours flottantes lorsqu'elles s'immergent dans les puits, du passage des brins de chaîne ou de câble d'un côté à l'autre des poulies dans les ascenseurs funiculaires et les plans inclinés; et, dans tous, ces variations peuvent être annihilées par des chaînes compensatrices ou des appareils compensateurs de systèmes divers, dont on pourra munir les appareils si l'on attache une importance suffisante à l'économie d'eau.

Abstraction faite de ces variations, qui peuvent être compensées, on peut admettre que la force nécessaire pour produire le mouvement est à peu près égale à 12 kilogrammes par tonne dans les ascenseurs hydrauliques et funiculaires et à 7 kilogrammes par tonne dans les plans inclinés à traction funiculaire (dont $2^k,5$ pour la résistance au roulement et $4^k,5$ en moyenne pourl'inertie et la résistance due aux frottements des câbles, poulies et arbres, cette dernière variant d'ailleurs dans d'assez fortes proportions suivant le diamètre admis pour les poulies). Or, dans les ascenseurs hydrauliques et dans les ascenseurs funiculaires où le sas est suspendu aux extrémités libres des chaînes, la totalité du poids de la surcharge d'eau introduite dans le sas descendant est utilisée comme force motrice. Dans les ascenseurs funiculaires du système de M. Barret, où le sas est porté par des poulies suspendues aux chaînes dont une extrémité est fixe, la moitié seulement de ce poids est utilisée. Dans les plans inclinés, on n'utilise que la composante parallèle au plan, soit le dixième environ de la surcharge.

On voit donc que la surcharge additionnelle motrice doit être sensiblement égale aux 12 millièmes du poids à mouvoir dans les ascenseurs hydrauliques et dans les ascenseurs funiculaires du premier système, aux 24 millièmes de ce poids dans les ascenseurs funiculaires du système de M. Barret, et aux 70 millièmes dans les plans inclinés à traction funiculaire

M. Seyrig produit le mouvement par une presse alimentée, non par un accumulateur, mais par un réservoir placé à une cinquantaine de mètres en contre-haut, dans lequel il faut d'abord élever l'eau du bief amont par une turbine. Les intermédiaires étant nombreux, le rendement est faible et la consommation de force motrice double au moins de celle des ascenseurs hydrauliques.

L'ascenseur aérien de M. Godfernaux comporte des frottements considérables dans les tuyauteries, en raison de l'énormité du volume d'air à écouler à chaque manœuvre; il consomme d'ailleurs une notable quantité de force motrice pour autre chose que le travail utile, notamment pour l'abaissement de la pression de l'air sous le sas arrivé au bas de sa course lorsque la couche d'eau additionnelle motrice est évacuée. Il doit donc conduire à une dépense d'eau très importante, qui d'ailleurs n'a pas été évaluée par l'auteur de l'avant-projet de cet appareil.

Le système imaginé par MM. Gonin et Huc-Mazelet consomme énormément d'eau en raison des résistances considérables auxquelles donne lieu le propulseur. Le projet dressé pour le canal du Centre français évaluait la consommation d'eau à 516^{m3} par opération complète (montée et descente) pour une chute de 18 mètres. Cette dépense d'eau est hors de toute proportion avec celle que comportent les autres systèmes.

4° *Simplicité, rusticité, facilité d'entretien et de manœuvre.* — C'est certainement au point de vue de la simplicité, de la rusticité, de la facilité de la manœuvre, de la modicité des dépenses d'entretien et de l'effectif du personnel d'exploitation que l'avantage des ascenseurs hydrauliques sur tous les autres systèmes est le plus accentué et le plus évident.

Il convient d'abord de remarquer que les portes des sas et des biefs, leurs appareils de manœuvre, les abords, le nombre des éclusiers nécessaires à cette manœuvre des portes et à la direction des opérations d'entrée et de sortie des bateaux doivent être laissés en dehors de la comparaison, puisque tous les appareils peuvent comporter les mêmes solutions sur ces points et qu'il sera logique d'adapter à tous celles qui seront reconnues les meilleures. Il suffira d'ailleurs, pour la manœuvre des portes, l'entrée et la sortie des bateaux, de deux éclusiers, un à l'amont, l'autre à l'aval, si l'appareil, quel que soit son système, est à deux sas par chute et d'un seul éclusier, suivant le sas dans son mouvement, s'il est à sas unique.

Les ascenseurs hydrauliques sont éminemment simples; ils ne comportent ni chaînes, ni poulies, ni arbres, ni roues, ni ressorts, ni graisseurs; leur machinerie se réduit à un accumulateur de dimensions modestes et à une turbine; ils ne comportent pas d'autre entretien que la réfection à de très rares intervalles des presse-étoupes de la presse du sas et de celle de l'accumulateur; un seul mécanicien en dirige la manœuvre, qui se réduit à celle d'une vanne, le remplissage de l'accumulateur et la mise en marche de la turbine se faisant automatiquement, grâce à une commande de la dernière simplicité. Les dépenses d'entretien sont nulles; l'usure se réduit à celle des étoupes et est négligeable. C'est bien là l'appareil simple et rustique par excellence, qui est destiné à remplacer l'écluse dans les grandes chutes.

Les ascenseurs funiculaires, au contraire, comportent des arbres portant de nombreuses poulies, des chaînes Galle, qu'il faudra sans cesse préserver de l'oxydation et dont les innombrables articulations devront être constamment entretenues lubrifiées d'huile, ainsi que les portées des arbres, des freins plus ou moins complexes, une grande quantité de graisseurs sur lesquels il faudra continuellement veiller et pour le service desquels un ouvrier spécial sera nécessaire. L'usure des portées des arbres et celle des chaînes seront bien loin d'être négligeables. En un mot, au point de vue de l'usure, de l'entretien, du graissage, du nettoyage, un ascenseur funiculaire constitue une véritable machine et même une machine des plus

délicates, puisque MM. Leslie et Barret, les deux seuls ingénieurs qui aient projeté des appareils de ce genre pour de grands bateaux, sont d'avis tous deux qu'elle ne peut rester exposée aux intempéries et qu'elle doit nécessairement être renfermée dans un grand bâtiment-abri.

Dans les plans inclinés, les organes de suspension et de roulement sont équivalents à ceux d'un train d'une trentaine de wagons; ils exigeront les mêmes soins, le même graissage, le même entretien, les mêmes réparations, avec cette sujétion en plus que le remplacement d'une seule roue immobilisera tout le système, tandis que la réparation d'un wagon n'immobilise pas le train dont il avait fait partie. La traction funiculaire comporte également des arbres, des poulies, des graisseurs, des câbles, tous organes exigeant un entretien permanent et sujets à l'usure. Enfin, une machinerie spéciale est nécessaire pour assurer, au haut de sa course, le calage du sas et pour le faire adhérer au bief d'amont.

Le plan incliné de MM. Gonin et Huc-Mazelet comporte des accumulateurs d'équilibre équivalant sensiblement, dans leur ensemble, aux deux presses d'un ascenseur hydraulique double et, en outre, le propulseur et les mêmes organes de roulement qu'un sas de plan incliné. Le plan incliné de MM. Thomasset, Vollot et Cie est beaucoup plus complexe encore; les patins de glissement sont des organes délicats, dont le fonctionnement exige 144 presses hydrauliques, une tuyauterie compliquée, des machines et des accumulateurs portés par le sas mobile.

Tous ces appareils, ascenseurs funiculaires ou plans inclinés de tous systèmes, nécessitent donc un entretien relativement considérable, une équipe d'ouvriers, un atelier pour les réparations. Ils ne sont point simples et ne peuvent être comparés à la rustique écluse de Visconti.

L'ascenseur flottant et l'ascenseur aérien ne soulèvent pas à ce point de vue les mêmes objections; toutefois, des fuites sont à redouter dans les tours flottantes du premier et dans les gazomètres et tuyauteries du second, qu'on n'a nullement à craindre dans les ascenseurs hydrauliques.

5° *Dépenses d'établissement et d'entretien.* — On vient de voir que l'ascenseur hydraulique est, peut-être avec l'ascenseur flottant, le seul qui ne donne lieu pour ainsi dire à aucune usure, à aucune dépense d'entretien.

Une comparaison entre les dépenses d'établissement des divers systèmes est bien difficile à exposer sans faire de chiffres et surtout en faisant abstraction des circonstances locales et de la disposition des lieux, qui peuvent influer sur le prix dans une très grande proportion. Quelques considérations générales pourront cependant être utiles.

Les ascenseurs aériens ne se prêtent pas, comme cela a été dit, à des accouplements à des distances un peu considérables, et ils ne peuvent être appliqués qu'à des chutes faibles, lesquelles conduisent toujours à des dépenses ramenées au mètre de hauteur franchie bien supérieures aux grandes. On peut de plus affirmer *a priori* qu'ils coûteraient plus que des

ascenseurs hydrauliques doubles de même chute, car, d'une part, l'économie qui pourra être réalisée sur les sas, supportés uniformément sur toute leur longueur, sera bien loin de compenser le coût des gazomètres et, d'autre part, le prix d'établissement de la grande fosse à creuser en entier en contre-bas du plafond du bief aval et de tous les terrains ambiants et des épuisements qui en seront la conséquence sera bien supérieur à celui de la presse hydraulique et de son puits. Les guidages ayant une hauteur plus que double de ceux des ascenseurs hydrauliques coûteront de leur côté environ quatre fois plus. Enfin, le mur de soutènement terminant le bief amont devra, comme les guidages, être descendu jusqu'au fond de la fosse, ce qui quadruplera également son prix.

L'ascenseur flottant, qui n'offre qu'un passage simple, est également beaucoup plus cher qu'un ascenseur hydraulique à un sas par chute, la dépense des flotteurs, des charpentes qui les surmontent et des énormes puits qui doivent les recevoir étant certainement beaucoup plus grande que celle de la presse d'un ascenseur hydraulique et de son puits, alors que le mur de soutènement, la cale sèche et le guidage sont sensiblement les mêmes.

Dans les ascenseurs funiculaires, les arbres et poulies, les chaînes Galle, les freins et les appareils de calage coûtent au moins autant que les presses et puits des ascenseurs hydrauliques; le mur de soutènement et la cale sèche sont les mêmes, et les pylônes ou murs de support de la plateforme portant les poulies supérieures et le bâtiment-abri coûtent beaucoup plus que les guidages des ascenseurs hydrauliques.

Le prix d'établissement d'un plan incliné funiculaire est à peu près de même ordre que celui d'un ascenseur hydraulique à deux sas; on peut comparer, en effet, au point de vue des dépenses, le sas et le truc (moins ses roues ou patins) d'un plan incliné au sas et au plongeur d'un ascenseur hydraulique, l'appareil funiculaire au guidage, les roues ou patins à l'excès du coût du mur de soutènement d'un ascenseur hydraulique sur celui de la tête du bief amont d'un plan incliné, les terrassements du plan incliné à la cale sèche, et enfin la voie maçonnée, qui doit être double, qui coûte de 600 francs à 1000 francs par mètre courant de voie simple et qui doit avoir une longueur égale à dix fois la chute, augmentée de la longueur du sas, au prix des presses et de leurs puits.

La disposition proposée par M. Hirsch, consistant à faire mouvoir les sas dans le sens de leur largeur, serait plus onéreuse encore, puisque la voie comporterait une largeur et un nombre de rails beaucoup plus grands.

Enfin, le prix du plan incliné de M. Gonin ne peut être que beaucoup plus élevé que celui des plans inclinés funiculaires et des ascenseurs doubles, le prix du propulseur étant bien supérieur à celui des appareils funiculaires de traction, et l'ensemble des accumulateurs contrepoids équivalant à deux sas d'ascenseur hydraulique.

Il faut remarquer, en outre, que, dans les ascenseurs funiculaires et

dans les plans inclinés, l'économie réalisée en ne mettant qu'un sas à chaque chute est très peu importante, puisque les organes de suspension et de traction demeurent les mêmes ainsi que les voies, et que la différence de prix entre le second sas et les contrepoids qui le remplacent ne peut être que faible, tandis que, dans les ascenseurs hydrauliques, l'économie réalisée est considérable, puisque deux sas, leurs presses et la majeure partie de leurs guidages sont supprimés et remplacés seulement par la tuyauterie d'accouplement entre les presses des deux chutes égales successives.

Il semble résulter de ce qui précède que, à quelque point de vue qu'on se place pour comparer les divers appareils élévateurs qui ont été proposés, les avantages de l'ascenseur hydraulique sur tous les autres systèmes sont très marqués et que le choix fait par les ingénieurs qui ont exécuté les élévateurs des Fontinettes et de la Louvière est à tous égards parfaitement justifié.

Perfectionnements dont l'ascenseur hydraulique paraît susceptible.

La simultanéité de la construction, en France et en Belgique, de deux grands ascenseurs hydrauliques doit être considérée comme une circonstance heureuse; elle permettra de choisir, pour les projets futurs, celles des dispositions qui paraîtront les meilleures dans l'un et dans l'autre.

Le système de joint entre le sas et les biefs par un tuyau gonflé à l'air comprimé, dit culotte, adopté aux Fontinettes, semble préférable au joint par coin mobile de la Louvière, qui présente l'inconvénient grave de coincer le sas au haut de sa course et d'exercer sur lui une poussée vers l'aval et qui est, en outre, beaucoup plus compliqué et d'une manœuvre plus longue que le joint à culotte.

La presse de la Louvière, qui se compose, pour ainsi dire, de deux presses concentriques, offre à tous égards la plus grande sécurité. On ne peut que lui reprocher l'existence du joint au caoutchouc qui se trouve entre la plaque de fond et la virole inférieure et qui constitue une complication et une sujétion d'entretien absolument superflues. Les dispositions du collecteur-distributeur circulaire, du tuyau d'accouplement, du presse-étoupes, du décrotteur sont admirablement étudiées, et il paraît difficile qu'on fasse jamais mieux dans l'avenir.

La presse des Fontinettes, qui n'est qu'une superposition de bagues, outre qu'elle n'offre pas la double sécurité qui résulte, à la Louvière, de l'emboitement de deux presses l'une dans l'autre, rappelle peut-être un peu trop le château de cartes; elle ne semble pas être rendue suffisamment indéformable dans le sens vertical par les quelques fers verticaux peu

résistants qui l'entourent. Le tuyau d'accouplement qui pénètre dans la presse par le fond est de forme compliquée; il est difficile à surveiller et à visiter; en outre, cette disposition présente l'inconvénient de ne pas permettre de doter les presses du système de frein dit tampon d'inertie, dont il sera question plus loin.

L'indépendance du sas proprement dit et de la charpente qui le supporte, réalisée à la Louvière, est très recommandable et très avantageuse pour l'entretien.

Les joints des portes formés par de petits fers demi-ronds s'appliquant sur des plates-bandes de caoutchouc de la Louvière procurent une étanchéité parfaite. Le mode d'attache de la porte du sas à celle du bief par un levier tournant dans un plan horizontal de la Louvière est également bien plus simple et de beaucoup préférable au système de crochets des Fontinettes, dont le dégagement exige un mouvement vertical de tout le sas superflu et regrettable.

L'ascenseur de la Louvière, un peu postérieur à celui des Fontinettes, est déjà plus perfectionné. Il est certain que les nouveaux ascenseurs, qui vont être entrepris sur le canal du Centre belge, le seront davantage encore.

Nous nous figurons les ascenseurs futurs à peu près semblables dans leur ensemble à celui de la Louvière, sauf les modifications suivantes qui sont toutes des simplifications :

Substitution de la culotte des Fontinettes au coin pour le joint entre le sas et les biefs;

Suppression du joint au caoutchouc existant au fond de la presse, ce joint pouvant être traité de la même manière que le joint entre deux viroles quelconques;

Suppression du pont-canal en amont de l'ascenseur;

Mise à l'abri de la gelée plus complète de certaines parties de la machinerie hydraulique;

Suppression des guidages d'aval, qui sont inutiles;

Construction de la charpente du sas en acier, afin de la rendre plus légère;

Adoption, dans un même but d'allègement, de bordés en tôles embouties pareilles à celles des portes des nouvelles écluses de $5^m,20$ de chute du canal du Centre français.

En dehors de ces modifications, qui sont suggérées par le seul examen comparatif des élévateurs de la Louvière et des Fontinettes, nous nous proposons d'indiquer encore cinq perfectionnements dont les ascenseurs hydrauliques nous paraissent susceptibles et dont trois d'ailleurs ont été proposés déjà par divers ingénieurs, savoir :

1° Étranglement de la conduite d'accouplement avant sa pénétration dans la presse;

2° Soupape automatique de sûreté;

3° Tampon d'inertie;

4° Mise en communication de l'accumulateur avec la conduite d'accouplement avant l'ouverture de la grande vanne;

5° Articulation hydraulique du sas sur la tête du plongeur.

Ce dernier perfectionnement pourrait être introduit indistinctement dans tous les ascenseurs hydrauliques; les quatre autres sont plus particulièrement indiqués en vue des ascenseurs à sas unique par chute, dans lesquels une longue conduite d'eau comprimée réunit les presses de deux chutes égales successives; ils ont pour but d'assurer l'entière sécurité des sas en cas de fuite importante ou même de rupture de la longue conduite d'accouplement.

1° *Étranglement de la conduite d'accouplement avant sa pénétration dans la presse.* — Si la presse d'une chute est réunie par une longue conduite avec celle de la chute suivante, cette conduite, pour ne pas donner lieu à des frottements exagérés, doit avoir un fort diamètre; M. Bassères, ingénieur de la Compagnie Fives-Lille, a proposé, avec beaucoup de raison, d'étrangler cette conduite, sur quelques centimètres seulement de longueur, près du point où elle pénètre dans la presse. En cas de rupture de la conduite, la presse se viderait comme un vase dont l'eau s'écoulerait par un orifice et le débit de la vidange serait proportionnel à la section de cet orifice. L'étranglement peut donc atténuer dans une proportion considérable la vitesse de chute du sas en cas de rupture de la conduite d'accouplement, tandis que, en raison de sa très faible longueur, il ne produit en marche normale qu'une perte de charge insignifiante, celle due à un changement brusque de section dans une conduite d'eau. Les calculs montrent qu'on peut, sans inconvénient au point de vue du fonctionnement normal, adopter pour le diamètre de l'étranglement le dixième du diamètre du plongeur, et que, en cas de rupture de la conduite, la vitesse de chute du sas serait limitée, par un tel étranglement, à 50 centimètres environ par seconde.

2° *Soupape automatique de sûreté.* — M. Barret, ingénieur des docks de Marseille, est l'inventeur d'une soupape automatique de sûreté qui, si elle était adaptée sur la conduite d'accouplement, près de la presse, se fermerait immédiatement, en raison de la diminution de la pression sur l'une de ses faces, sans trop de brusquerie cependant et sans coup de bélier dangereux, dans le cas où la conduite se romprait ou subirait une fuite importante. Douze de ces soupapes sont en service tant aux docks et aux ponts tournants de Marseille qu'aux aciéries de Denain, de Neuves-Maisons, de Pompey et de Terre-Noire, dans des conditions analogues à celles où elles se trouveraient dans les ascenseurs, et elles ont, paraît-il, toujours fonctionné de la manière la plus irréprochable. L'augmentation de pression résultant du coup de bélier donné par la fermeture de la soupape n'est, selon M. Barret, que de 3 kilogrammes environ par centimètre carré.

Nous pensons que, après quelques essais préalables, cette soupape pourrait être utilement employée dans les ascenseurs à sas unique par chute et qu'elle assurerait aux sas une sécurité complète, tout à fait indépendante des chances de rupture de la conduite d'accouplement.

3° *Tampon d'inertie.* — Dans tous les ascenseurs hydrauliques où la conduite d'accouplement débouche, comme à la Louvière, au sommet de la presse, le sas ne peut descendre qu'à la condition que l'eau renfermée dans le fond de la presse au-dessous du plongeur puisse s'échapper, passer autour du plongeur et atteindre l'orifice de la conduite. MM. Bassères et Barret ont tous deux eu l'idée de profiter de cette circonstance pour doter les ascenseurs d'un appareil de sûreté capable d'amortir, dans une proportion considérable, la vitesse de chute que prendrait le sas si, par suite de la rupture soit de la conduite d'accouplement, soit de quelques-uns des boulons du presse-étoupes, soit même d'une des viroles de la presse, une fuite d'eau importante se produisait dans la conduite de communication ou dans la partie supérieure ou moyenne de la presse. Ils ont proposé de réduire progressivement, sur une certaine longueur de la partie inférieure de la presse, le jeu entre les parois intérieures de la presse et les parois extérieures du plongeur, de manière à ce que, lorsqu'à la fin de la course descendante le plongeur s'est engagé dans cette partie inférieure, la section, que l'eau doit nécessairement traverser, au droit du fond du plongeur, pour s'échapper de la base de la presse, devienne de plus en plus petite au fur et à mesure que le plongeur s'enfonce davantage, et se réduise même, à la fin, à celle de quelques cannelures creusées dans les parois de la presse. Le calcul montre qu'il suffit, pour obtenir un amortissement suffisant de la vitesse de chute, de donner à ce dispositif de la partie inférieure de la presse, que M. Barret a appelé tampon d'inertie, une longueur de $0^m,30$ à $0^m,35$; qu'il est facile de lui attribuer une forme telle que l'augmentation de la pression sous le plongeur, lors de l'amortissement de la plus grande vitesse de chute à prévoir, ne dépasse pas le dixième de la pression normale de service et que, en marche normale, la traversée du tampon par le plongeur ne peut produire qu'un allongement du temps du parcours absolument négligeable de deux à quatre secondes. L'admission de ce précieux appareil de sûreté, concurremment avec les deux précédents, paraît donc à tous égards très possible à réaliser.

4° *Mise en communication de l'accumulateur avec la conduite d'accouplement avant l'ouverture de la grande vanne.* — Si les deux sas, dont les presses sont conjuguées, rachètent deux chutes consécutives égales situées à quelque distance l'une de l'autre, on doit nécessairement avoir deux vannes de communication entre la conduite et les presses, situées chacune auprès de chaque presse, ainsi que deux accumulateurs, un à chaque chute. Le mécanicien, dès qu'il a terminé les manœuvres d'amarrage du bateau et de fermeture des portes et qu'il a défait le joint entre le sas et le bief, ouvre la vanne dont il dispose sans se préoccuper de ce qui se passe

à l'autre chute, et ce n'est qu'après que les deux vannes ont été ouvertes par les deux mécaniciens que l'appareil peut se mettre en marche. S'il existait des fuites dans la longue conduite d'accouplement, cette conduite pourrait avoir perdu sa pression et avoir même subi un petit commencement de vidange pendant le temps où elle s'est trouvée isolée des presses, les vannes placées à ses extrémités étant toutes deux fermées. Pour éviter que, dans ce cas, au moment de l'ouverture de la première vanne, le sas correspondant ne subisse un commencement de chute, puis un arrêt brusque, il paraît prudent de mettre, pendant un temps d'ailleurs très court, la conduite d'accouplement en communication avec l'accumulateur immédiatement avant l'ouverture de la vanne, de manière à y rétablir la pression si elle était tombée. Cela est d'ailleurs très facile à réaliser sans compliquer la manœuvre. Il suffit d'établir un petit tuyau réunissant la conduite venant de l'accumulateur à la conduite d'accouplement, en le faisant déboucher dans cette dernière immédiatement au delà de la grande vanne, et de faire commander le robinet de ce petit tuyau par le volant de manœuvre de la grande vanne, en disposant les choses de telle manière que le premier tour de ce volant soit sans action sur la grande vanne et qu'il ne fasse qu'ouvrir, puis refermer immédiatement après le robinet de ce petit tuyau.

5° *Articulation hydraulique du sas sur la tête du plongeur.* — Une presse hydraulique est un support qui jouit d'une propriété toute particulière. Lorsqu'un corps pesant repose sur un plan horizontal par l'intermédiaire d'un certain nombre de roues ou supports quelconques ou par une base plane, si le centre de gravité du corps, supposé d'abord placé de telle sorte que les réactions du plan d'appui sur chacune des roues ou sur chaque unité de surface de la base du corps fussent égales, vient à se déplacer sans sortir du polygone de sustentation, ces réactions se modifient; elles augmentent d'un côté, diminuent de l'autre, et leur résultante continue toujours à passer par le centre de gravité qu'elle suit dans tous ses déplacements. Il en est tout autrement lorsqu'un corps pesant repose, par l'intermédiaire d'un piston plongeur vertical, sur de l'eau renfermée dans une presse. La pression de l'eau à l'intérieur de la presse est exactement la même en tous les points pris sur un même plan horizontal; l'eau exerce donc sur tous les points de la base du plongeur des réactions qui sont toutes exactement les mêmes par unité de surface de la projection horizontale de cette base, et dont la résultante passe toujours par l'axe de figure du plongeur.

Si le centre de gravité du corps supporté cesse de se trouver sur la verticale de l'axe du plongeur, le poids du corps et la réaction de l'eau ne sont plus deux forces égales et opposées qui se font équilibre; ce sont deux forces égales, parallèles et de sens contraire, qui constituent un couple de rotation, et la rotation ne peut s'effectuer qu'autour du seul point du plongeur qui ne puisse se déplacer latéralement, le point où il traverse le

presse-étoupes. Une presse hydraulique ne peut donc servir de support à un corps pesant qu'à la condition de lui adjoindre un guidage. Mais un guidage laisse toujours un jeu, si petit soit-il, tandis que le presse-étoupes n'en laisse aucun au plongeur. Si le corps pesant, que nous supposons être un sas d'ascenseur, et le plongeur qui le supporte forment un tout indéformable, une sorte d'immense T rigide, il arrivera donc nécessairement que, lorsqu'un bateau entrant dans le sas, parvenu au haut de sa course, refoulera devant lui un flot d'eau et reportera ainsi légèrement vers l'aval le centre de gravité de la masse contenue dans le sas, celui-ci exécutera une rotation infiniment petite autour du centre de figure du presse-étoupes, rotation qui ne s'arrêtera que lorsque l'arête supérieure de la grande règle verticale fixée au sas aura pris contact avec le guidage. A ce moment, deux réactions formant un couple équilibrant celui formé par le poids du sas et la pression de l'eau sur le fond du plongeur se développeront, l'une de ces réactions étant fournie par la partie supérieure du guidage, l'autre par le presse-étoupes, c'est-à-dire par la virole supérieure de la presse. Les forces horizontales nombreuses qui agissent sur le sas au haut de sa course, la poussée de l'eau sur la porte d'aval lorsque la porte d'amont et celle du bief sont ouvertes, l'effort de traction exercé de l'extérieur sur le bateau, l'action du vent sur les parois du sas, admettent une résultante horizontale sous l'action de laquelle le sas exécutera également un commencement de rotation autour du centre du presse-étoupes; ici encore ce sera l'extrémité supérieure de la règle du sas qui viendra la première prendre contact avec le guidage; mais la réaction qui se développera à ce contact ne pourra à elle seule faire équilibre à la force horizontale perturbatrice agissant sur le sas, puisque son point d'application sera situé à un niveau notablement plus élevé et qu'ainsi il sera impossible que ces deux forces puissent être égales et directement opposées; l'équilibre ne pourra être rétabli que par l'intervention d'une troisième force qui soit égale et directement opposée à la résultante des deux premières; et cette troisième force, cette seconde réaction indispensable ne pourra se développer qu'au seul point de contact qui existe, en dehors de l'extrémité supérieure de la règle, entre le système mobile et des points fixes, c'est-à-dire encore au presse-étoupes. Il est donc fatal que, si le sas et le plongeur forment un tout solidaire et indéformable, les forces perturbatrices agissent non seulement sur le guidage, mais encore, par l'intermédiaire du plongeur, dont la partie non immergée sera soumise à un couple de flexion, sur le presse-étoupes qui ne lui laisse aucun jeu, sur la virole supérieure de la presse.

Or, il est mauvais, au point de vue de la sécurité, que des organes quelconques d'une construction aient à résister à des efforts autres que ceux pour lesquels ils sont établis; il est désirable que les viroles de de la presse ne travaillent qu'à l'extension simple, que la partie non immergée du plongeur ne soit qu'une colonne, qu'un support, et c'est ce qui faisait dire dans un langage imagé, mais qui rend bien l'idée, à

un de nos célèbres ingénieurs que le sas d'un ascenseur devrait reposer sur le plongeur par la pointe d'un paratonnerre.

Si, au contraire, le sas est articulé sur le plongeur, les mouvements de rotation ne s'arrêteront qu'après que l'extrémité inférieure de la règle du sas aura également pris contact avec le guidage, et c'est à ce second contact que se développeront les réactions qui tout à l'heure étaient demandées au presse-étoupes; le guidage exercera la totalité des réactions horizontales, ce qui est son rôle, ce pourquoi il est établi et doit être calculé; la partie non immergée du piston ne sera plus qu'une colonne comprimée; la virole supérieure de la presse n'aura d'autres efforts à subir que celle des viroles ordinaires. Dans les ascenseurs comme dans les grandes fermes métalliques, l'articulation a, à notre avis, un grand rôle à remplir, celui de donner la certitude que, dans toutes les circonstances possibles, chaque organe n'aura à résister qu'aux efforts mêmes en vue desquels il a été prévu.

Mais ici une simple articulation sur rotule sphérique n'est point suffisante. Dans les grandes fermes métalliques, les forces qui produisent le mouvement sur les rotules sont les forces de dilatation et de contraction du métal, qui sont immenses et qui peuvent toujours surmonter la résistance au glissement de la partie mobile sur la rotule. Dans les ascenseurs, au contraire, les forces perturbatrices ne représentent qu'une bien petite fraction du poids du sas, et elles sont de beaucoup inférieures à l'effort nécessaire pour vaincre la résistance au frottement entre le sas et une rotule sur laquelle il pèserait de tout son poids. Nous proposons de résoudre la difficulté par une articulation hydraulique.

Entre le corps cylindrique du plongeur et son chapiteau serait intercalé un couvercle en forme de calotte sphérique à peu près analogue à la base retournée de ce plongeur. Le sas reposerait sur le chapiteau du plongeur par un second chapiteau terminé inférieurement par un couvercle semblable tourné en sens inverse; ce second chapiteau, solidaire du sas, ne porterait que par le périmètre de son couvercle sur les bords supérieurs des parois latérales du chapiteau du plongeur, bords qui présenteraient une portée annulaire rabotée et, à l'intérieur de celle-ci, une bague formant joint étanche.

Les brides extérieures, dont pourraient être munis le couvercle inférieur du chapiteau du sas et les bords supérieurs des parois latérales du chapiteau du plongeur, seraient légèrement en retraite sur la portée rabotée qu'elles entoureraient, de manière à laisser entre elles un petit jeu, et elles seraient reliées par des boulons dont les trous seraient ovalisés et les écrous desserrés.

L'intérieur du chapiteau du plongeur constituerait ainsi une petite chambre limitée en bas et en haut par les parois extérieures convexes des deux couvercles et sur les côtés par les parois latérales de ce chapiteau. De l'eau comprimée remplirait cette chambre, qui communiquerait libre-

ment avec la presse au moyen d'un très petit tuyau descendant à l'intérieur du plongeur sur toute sa hauteur et traversant sa base hémisphérique en son centre. Grâce à cette disposition, le poids du sas serait transmis au plongeur à la fois par l'eau comprimée enfermée dans la chambre ménagée à l'intérieur du chapiteau du plongeur et par la portée annulaire rabotée des bords supérieurs de ce chapiteau, et on pourrait se donner le diamètre intérieur du plafond de la chambre, qui est arbitraire, de manière à ce que l'eau comprimée portât la presque totalité du poids du sas, la portée rabotée n'en portant qu'une très faible partie. La résistance due au frottement de cette articulation hydraulique ne serait guère supérieure au produit du coefficient de frottement de fonte sur fonte par la faible partie du poids du sas transmise par la portée annulaire; l'articulation serait donc efficace. Elle ne saurait d'ailleurs présenter de danger, la portée annulaire rabotée pouvant recevoir la même largeur que les portées existant entre les diverses viroles du piston et être par suite susceptible de recevoir, le cas échéant, la totalité du poids du sas.

Tels sont les quelques perfectionnements dont les ascenseurs hydrauliques nous paraissent encore susceptibles, après ceux si nombreux qui ont été réalisés dans la construction des élévateurs des Fontinettes et de la Louvière. Il convient de remarquer que ces perfectionnements, s'ils compliquent quelque peu la construction, ne donnent lieu à aucun entretien ni à aucune manœuvre supplémentaires, et qu'ils ne se traduisent que par une augmentation, relativement bien minime, des frais de premier établissement.

Les quatre premiers perfectionnements indiqués, en assurant, par leur adoption simultanée, la sécurité complète du sas, nonobstant tout accident sur la conduite d'accouplement, doivent, à notre avis, permettre d'accepter désormais sans hésitation la combinaison réunissant deux chutes égales consécutives en un même système, un seul sas desservant chaque chute partielle, combinaison qui, dans la plupart des cas, permettra de réaliser une forte économie et qui, sur la grande majorité des canaux, est très largement suffisante.

Elle suffit, en effet, partout où les écluses simples suffisent, car elle peut faireface au même trafic qu'une écluse ordinaire.

Comme l'écluse, l'ascenseur à sas unique par chute n'offre qu'une seule voie. Comme elle, il ne permet d'utiliser que la moitié des manœuvres lorsque plusieurs bateaux marchant dans le même sens se présentent consécutivement.

Il ne présente qu'une seule sujétion en plus que l'écluse, celle d'exiger la simultanéité des manœuvres dans les deux chutes successives accouplées; mais ce n'est pas là un inconvénient, car de deux choses l'une, ou le canal est très-fréquenté ou il ne l'est que peu. S'il est très-fréquenté, les mouvements des deux sas pourront presque toujours être simultanément utilisés

par des bateaux différents; s'il n'est que peu fréquenté, on n'aura nul besoin d'attendre qu'un bateau remplisse chaque sas pour opérer la manœuvre; il suffira, pour qu'une manœuvre puisse se faire alors qu'un bateau ne se présente qu'à une seule chute, que le mécanicien, une fois prêt, prie son collègue de l'autre chute d'ouvrir sa vanne, ce qui pourra se faire commodément, par un fil téléphonique reliant les deux chutes.

Conclusions.

Comme conséquence de tout ce qui précède, nous estimons que les deux conclusions suivantes peuvent être utilement soumises aux discussions du Congrès.

Première conclusion. — Parmi tous les appareils proposés pour faire franchir de grandes chutes aux bateaux sur les canaux de navigation, les ascenseurs hydrauliques doivent être particulièrement recommandés lorsque les circonstances locales permettent d'adopter indistinctement tous les systèmes.

Deuxième conclusion. — Divers perfectionnements ont déjà été indiqués qui permettent d'augmenter encore la sécurité des ascenseurs hydrauliques, notamment en ce qui concerne la combinaison consistant à conjuguer des presses séparées par un bief intermédiaire en les réunissant par une conduite d'eau sous pression, ce qui permet, en n'établissant qu'un seul sas à chaque chute, de desservir par un seul système deux chutes égales et successives d'un canal. En raison des économies importantes que cette combinaison, suffisante sur la grande majorité des canaux, permettrait de réaliser, il y a lieu de recommander tout spécialement la continuation des études ayant pour objet tant les moyens de construire une conduite d'eau de gros diamètre, sous forte pression, qui soit à l'abri de tout danger que ceux d'assurer l'entière sécurité des sas, nonobstant tout accident à la conduite reliant les presses qui les supportent.

Langres, 29 mai 1889.

II

CONFÉRENCES

DES

DROITS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS

SUR LES EAUX COURANTES

CONFÉRENCE

Faite le 22 juillet 1889

PAR

M. BEAURIN-GRESSIER

Chef de la Division de la Navigation au Ministère des Travaux publics.

SOMMAIRE

I. — Introduction. — Objet de la conférence. 277
Fondements essentiels du droit en matière d'eaux courantes. 277
Plan de la conférence. 278

II. — Rôle général des eaux dans l'équilibre du milieu universel. 279
Rôle des eaux dans l'équilibre général de l'univers. 279
Rôle des eaux dans l'équilibre d'un bassin hydrographique. 279
Aspects divers sous lesquels les eaux se présentent. 279
Définition d'un cours d'eau. 280

III. — Rapports existant entre les eaux intérieures d'un bassin et les populations qui l'habitent. 280
Avantages que l'homme tire des eaux courantes. — Dommages qu'il peut en redouter. 280
Place des eaux courantes dans la classification des biens. 281
L'action des titulaires de droits ne doit pas être perturbatrice. 282
Intervention nécessaire de lois positives pour l'attribution des droits. . . 282

IV. — Attribution des droits. — Cours d'eau secondaires. 283
Solution spéciale pour les sources et ruisseaux. 283
Considérations qui peuvent influer sur l'attribution des droits. 284
Solution tendant à réserver à l'eau courante le caractère de bien commun. 285
Conséquences de cette solution. 285
Seconde solution. — Droit aux qualités utiles de l'eau attribué aux riverains. 285
Réserve à faire pour certaines qualités utiles. 286
Régime de la réglementation. 287
Premier système. — Institution d'un pouvoir réglementaire. 287
Second système. — Régime du droit commun. 288
Avantages respectifs des deux systèmes. 288
Comment se perdent les droits des riverains. 289
Réserve des droits supérieurs de la Société. 289

V. — Du droit de pêche. 290
Nouveau caractère de l'eau courante comme fonds de pêche. 290
Complication nouvelle apportée dans l'attribution des droits 290

VI. — Des droits sur le lit et les berges. 291
L'eau et le lit forment un tout inséparable. 291
Propriété éventuelle du lit. 292

VII. — Des servitudes. 293
Fausse acception donnée au mot « servitude ». 293
Véritables servitudes. 293
Servitudes contractuelles; servitudes légales. 294

VIII. — Fleuves et rivières navigables. 294
Fleuves et rivières où l'intérêt de la navigation n'est pas prépondérant.. 294
Fleuves et rivières où l'intérêt de la navigation devient prépondérant. . 296
Du domaine public fluvial. — Ses caractères. 296
Rôle de l'État. 296
Fonctions de l'État à l'égard du domaine public fluvial. 297
Rôle de l'État à l'égard des travaux d'amélioration de la navigabilité. . . 298
Mode d'action direct de l'État. 299
Des concessions. — Droits des concessionnaires. 299

IX. — Limites du domaine public. 300
Limites transversales. 300
Limites longitudinales. 301

X. — Résumé et conclusions. 302

DES

DROITS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS

SUR LES EAUX COURANTES

CONFÉRENCE

Faite le 22 juillet 1889

PAR

M. BEAURIN-GRESSIER

Chef de la Division de la Navigation au Ministère des Travaux publics.

I. — Introduction. — Objet de la conférence.

Fondements essentiels du droit en matière d'eaux courantes. — Lorsqu'il s'est occupé de dresser le programme des questions à traiter par le Congrès de l'utilisation des eaux, le Comité d'organisation a pensé que l'étude des droits divers auxquels peuvent donner naissance les eaux intérieures d'un pays formait en quelque sorte l'introduction naturelle de ces questions.

On peut juger, en effet, qu'avant de s'arrêter aux différents procédés scientifiques appliqués à l'utilisation des eaux, il est intéressant de déterminer quelles sont les limites qui s'imposent à l'action des hommes sur les eaux pour les soumettre aux divers usages dont elles sont susceptibles.

Ces limites ont une double origine :

Elles sont en premier lieu tirées de la place que les eaux occupent dans l'équilibre du milieu matériel de l'univers.

Elles dérivent ensuite du rôle que jouent les eaux dans l'économie du milieu social, dans l'équilibre de toute société humaine.

S'il importe, en effet, que pour accomplir sa destinée, l'homme soit mis à même de puiser, dans le milieu matériel où il est placé, les choses qui sont nécessaires à la conservation et au développement de son être; s'il doit avoir la faculté de le faire, il est non moins essentiel que son action ne soit de nature à apporter aucune perturbation dans le double équilibre

que nous venons de rappeler et au maintien duquel est subordonnée l'existence de tous les êtres avec lesquels il cohabite sur le globe terrestre.

On voit donc que les limites apportées à son action, exercée individuellement ou collectivement, seront déterminatrices de sa faculté d'agir, c'est-à-dire de ses droits.

Ces limites sont d'ordre naturel, antérieures et supérieures à la reconnaissance qu'en peut faire le jugement des hommes; cependant, pour empêcher que l'action humaine ne s'exerce d'une façon déréglée, pour éviter les conflits, il est indispensable dans toute société organisée que ces limites soient préalablement définies tout au moins d'une manière générale.

La loi positive, agissant au nom de l'État, incarnation des intérêts solidaires de l'agrégation nationale, a pour mission de donner à la reconnaissance des droits une formule préalable précisant à chacun ce qu'il peut faire sans empiéter sur le champ d'action du voisin, sans exercer une action perturbatrice sur le milieu commun. A l'État appartient encore, comme détenteur de la force publique, la mission de garantir à chacun l'exercice des droits ainsi formulés et d'en faire respecter la jouissance.

La tâche qui m'est impartie aujourd'hui consiste à rechercher et à développer devant le Congrès quelles sont, dans leurs grandes lignes, les bases essentielles de toute législation à l'égard des eaux intérieures d'un pays et plus spécialement des eaux courantes.

Je dis dans leurs grandes lignes, car par cet énoncé seul, on peut voir quelle est l'ampleur du sujet. On sait à combien de volumineux ouvrages il a donné naissance; combien de législations et de réglementations il a provoquées dans les divers pays. Le Congrès ne peut attendre de moi que je passe en revue toutes les législations et les doctrines sur lesquelles elles s'appuient et que j'en fasse l'examen critique.

Je me bornerai donc aux fondements essentiels de toute législation touchant aux divers usages de l'eau. C'est là, au surplus, un sujet d'ordre général qui peut trouver son application dans tous les pays et qui présente bien le caractère international qui convient à un Congrès réuni à l'occasion d'une Exposition Universelle.

Plan de la conférence. — Dans l'ordre d'idées où je me place, et pour déterminer les fondements du droit en matière d'eaux courantes, j'aurai à montrer d'abord quelle est la place qu'occupent les eaux dans l'équilibre général de l'Univers et plus spécialement de tout bassin hydrographique; — quels sont les divers aspects sous lesquels les eaux intérieures et les eaux courantes notamment se présentent à l'homme.

J'aurai à examiner ensuite quels sont les modes d'action auxquels l'homme a recours pour tirer des eaux les avantages qu'elles comportent, ou se protéger contre les dommages qu'elles peuvent lui occasionner; dans quelles conditions pourra être exercée cette action pour n'apporter aucun trouble dans l'équilibre matériel et dans l'équilibre social.

J'aurai a rechercher enfin à qui, suivant les circonstances, devra être attribuée la faculté d'exercer cette action et les limites apportées à cette attribution.

Tel est le plan de l'étude qui va suivre.

II. — Rôle général des eaux dans l'équilibre du milieu universel.

Rôle des eaux dans l'équilibre général de l'univers. — Envisagée au point de vue de la place qu'elle occupe dans l'univers, l'eau concourt à l'équilibre général par sa masse, par ses transformations successives en corps liquides et en corps gazeux, au moyen de l'évaporation qui sert de véhicule à sa distribution entre les mers et les continents. L'eau nous apparaît comme un élément essentiel de la conservation de la vie. Sans l'eau, aussi bien que sans l'atmosphère, la vie générale, la vie végétale comme la vie animale, serait suspendue. Nous touchons là, au surplus, à des phénomènes supérieurs qui, en règle générale, échappent à l'action de la créature humaine et, dans l'ordre d'idées qui nous occupe, nous pouvons ne pas nous y arrêter.

Rôle des eaux dans l'équilibre d'un bassin hydrographique. — Nous nous occupons plus spécialement des eaux intérieures, c'est-à-dire de celles qui alimentent chaque bassin hydrographique. Ici encore la masse des eaux du bassin, constituée par la distribution qui s'opère entre les différentes parties de l'univers, concourt essentiellement au maintien de l'équilibre, à la conservation de la vie animale et végétale, et tout ce qui entraverait la distribution naturelle serait de nature à altérer profondément l'équilibre du milieu.

Aspects divers sous lesquels les eaux se présentent. — Les eaux apportées par les nuages se répandent sur la surface du bassin. Elles s'arrêtent plus spécialement sur les points culminants qui en constituent la ceinture. Elles s'infiltrent dans le sol où elles vont former des nappes souterraines, ou bien elles s'écoulent à la surface suivant la pente des terrains. Des nappes souterraines, quand l'accumulation est trop grande, elles s'échappent en sources qui s'écoulent également à la surface, vers les parties inférieures des vallées, où elles se réunissent dans des thalwegs secondaires et forment ainsi les cours d'eau qui viennent aboutir eux-mêmes au thalweg général de la vallée, pour regagner enfin le réservoir commun, c'est-à-dire la mer.

Les eaux intérieures nous apparaissent ainsi sous la forme d'eaux éparses, provenant des pluies, de nappes souterraines, de sources, de ruisseaux, de cours d'eau, de rivières et de fleuves, et c'est sous ces formes

diverses que l'homme y puisera pour les faire servir aux différents usages auxquels il jugera utile de les appliquer.

Définition d'un cours d'eau. — Puisque notre sujet vise surtout sur les eaux courantes, précisons plus complètement la notion du cours d'eau; d'autant plus que la nature des droits auxquels l'eau courante peut donner naissance diffère, nous le verrons tout à l'heure, de celle des eaux qui sont soustraites naturellement ou par le fait de l'homme à l'écoulement général.

Un cours d'eau peut être défini : une masse d'eau alimentée par l'écoulement des pluies en même temps que par les sources qui jaillissent à la suite de leur infiltration, ou s'échappent des nappes souterraines et qui, obéissant à la pente naturelle du sol, suit une direction certaine, dans un chenal déterminé, jusqu'à ce qu'elle se confonde avec des eaux plus importantes et enfin avec la mer.

D'après cette définition, un cours d'eau, coulant dans un chenal déterminé, ne saurait se confondre ni avec les eaux superficielles, ni avec les eaux intérieures qui n'ont pas de cours certain ni de chenal défini.

Il n'est cependant pas nécessaire, pour constituer un cours d'eau, que l'eau coule d'une façon continue; le chenal peut occasionnellement être à sec; il suffit que l'eau coule ordinairement dans un chenal régulier et que son cours ait une existence réelle et bien définie. Les eaux courantes doivent être distinguées des eaux sauvages qui, à la fonte des neiges, descendent des coteaux sous forme de torrents et inondent les vallées.

Tout cours d'eau se compose d'un lit, de rives et de l'eau courante qui y est contenue.

L'ensemble de toutes les eaux courantes du bassin constitue un vaste système, dont toutes les parties sont solidaires les unes des autres, de telle sorte que l'ensemble ne peut se concevoir que par l'existence simultanée de toutes les parties.

III. — Rapports existant entre les eaux intérieures d'un bassin et les populations qui l'habitent.

Les différents aspects sous lesquels se manifestent les eaux intérieures d'un bassin ainsi décrits, nous avons à analyser les rapports que l'homme, considéré individuellement ou comme membre d'une agrégation sociale, est amené à avoir avec elles, c'est-à-dire les avantages qu'il peut en tirer, les atteintes dommageables qu'il peut en redouter, l'action qu'il exerce sur elles à ce double point de vue.

Avantages que l'homme retire des eaux courantes. — Dommages qu'il peut en redouter. — L'homme demande à l'eau placée à sa portée son

breuvage et celui des êtres animés qu'il a asservis; il y recourt pour de nombreux usages domestiques; il l'applique à l'arrosage des terres qu'il cultive, aux irrigations. Le lit des cours d'eau peut être considéré comme un égout naturel destiné à donner passage aux eaux de pluie et à toutes celles qui, pour un motif quelconque, se trouvent éparses à la surface du sol.

L'homme emprunte à l'eau les forces spéciales qu'elle renferme ou auxquelles elle sert de support : force de la gravitation engendrée par la pente des cours d'eau, force hydraulique basée sur l'incompressibilité des liquides, force qu'on obtient par la transformation de l'eau en vapeur.

L'eau donne lieu à une flore et à une faune spéciales que l'homme utilise.

Enfin la masse liquide, lorsqu'elle se présente avec une certaine abondance, devient pour l'homme une précieuse voie de communication, en raison des facilités qu'elle apporte à la locomotion et au déplacement des personnes et des choses.

Voici pour les services que les hommes peuvent retirer des eaux. Mais là ne se bornent pas les rapports qui les rattachent à l'existence de l'eau.

Comme cela a lieu pour toutes les forces de la nature, l'action déréglée des eaux devient à un moment donné perturbatrice, et en même temps qu'il les utilise, l'homme a fréquemment à se protéger contre elles. Stagnantes, les eaux deviennent un foyer de pestilence; courantes, elles peuvent être un véhicule d'insalubrité. Enfin, à certains moments, leurs masses grossissantes sortant de leur lit habituel, inondent et ravagent les territoires habités et cultivés.

Place des eaux courantes dans la classification des biens. — Envisagées au point de vue des services que les hommes peuvent en tirer, des qualités utiles qu'elles présentent pour eux, les eaux occupent dans la classification des biens des places diverses.

Toutes les fois que l'homme peut distraire de la masse des eaux une certaine portion qu'il applique à la satisfaction de ses besoins primordiaux, à son breuvage, à ses usages domestiques, à l'arrosage de son jardin, cette portion ainsi distraite de la masse prend le caractère d'une chose fongible, susceptible d'appropriation individuelle, au même titre que toutes les choses fongibles de la nature dont l'homme s'assimile les qualités utiles en les consommant.

Lorsque la portion ainsi séparée — soit que la séparation résulte du fait de l'homme, soit qu'elle résulte d'un phénomène spontané — offre une masse assez considérable et suffisamment permanente pour être susceptible d'usages répétés et devenir l'objet d'une culture, d'une exploitation destinée à lui faire rendre des fruits successifs, elle devient un *fonds* spécial; ce fonds est lui-même susceptible d'appropriation; il rentre dans la catégorie des biens fonciers, à l'instar d'un fonds de terre soumis à la culture de l'homme. — Tels seront un réservoir ou un étang formé par l'accumu-

lation spontanée des eaux éparses ou constitué de main d'homme par un prélèvement sur des sources ou des eaux courantes.

Mais toutes les fois que l'eau demeure liée au système général des eaux du bassin et s'écoule, elle échappe aux effets ordinaires, aux conditions habituelles de l'appropriation. Il n'est plus loisible à un individu déterminé de déclarer sienne cette eau qui s'écoule et d'en faire une chose qui lui soit exclusivement propre.

Aussitôt qu'elle s'écoule, l'eau devient essentielle à l'équilibre général de la vallée, du bassin même tout entier; elle a une destination générale qu'il n'appartient à personne, individu ou collectivité, d'entraver. Tous ceux à la portée desquels elle est susceptible de passer sont rationnellement fondés à en attendre le passage pour y puiser les qualités utiles qu'elle doit apporter au milieu dans lequel ils sont placés. L'eau se trouve dans ce cas soustraite au champ de l'appropriation individuelle, elle devient chose commune, susceptible seulement d'usages, mais d'usages non exclusifs et dont la faculté sera réservée à tous ceux qui auront acquis ou à qui la société aura reconnu des titres à ces usages.

L'eau courante échappe au principe de l'appropriation parce qu'elle est chose commune; elle y échappe également par sa nature et sa forme spécifique. En dehors des origines légales ou contractuelles, l'appropriation foncière a généralement une origine philosophique. L'appropriation foncière est basée sur une présomption, celle de l'occupation. Elle résulte d'une incorporation d'efforts légitimement introduits dans le bien foncier, efforts sur lesquels celui qui les a accomplis exerce un droit de suite. Là où il n'y a pas occupation, en matière de biens fonciers, il ne peut y avoir appropriation. Or l'eau courante, composée de molécules en état perpétuel de mouvement et de transformation, se refuse, par sa fluidité et par son instabilité même, à une occupation et par suite encore à toute appropriation.

L'action des titulaires de droits ne doit pas être perturbatrice. — Toutes ces considérations concourent à démontrer que la faculté de faire usage d'une eau courante restera toujours subordonnée à de nombreuses restrictions inconciliables avec l'idée de propriété exclusive. Il importera toujours que les prélèvements opérés sur la masse de l'eau courante, que l'action exercée sur elle pour en tirer certains avantages spéciaux, ne soient pas de nature à troubler l'équilibre de la vallée, à porter préjudice aux intérêts multiples qu'il est dans la destination du cours d'eau de desservir; il ne faut pas que l'action exercée absorbe au profit d'un seul les qualités qui étaient le bien commun de plusieurs; il ne faut pas enfin que le fait de dégager une certaine qualité utile ait pour conséquence d'annihiler les autres qualités utiles du cours d'eau.

Intervention nécessaire de lois positives pour l'attribution des droits. — Dans toute société organisée, l'autorité sociale doit intervenir à l'égard

des usages de l'eau courante, de même qu'elle intervient pour toute reconnaissance et toute attribution de droits sur les choses foncières. Il importe au point de vue de cette intervention de déterminer qui pourra user de l'eau courante, exercer une action sur elle, où et comment il pourra le faire.

De là, la nécessité d'une attribution de droit avec une définition limitatrice de ce droit; étant entendu que cette attribution et cette limitation devront toujours être basées sur la destination générale de l'eau et sur les diverses qualités utiles que les hommes peuvent en attendre.

Il nous reste à examiner quelles sont les applications générales de cette attribution.

IV. — Attributions des droits. — Cours d'eau secondaires.

Pour déterminer les conditions dans lesquelles pourra ou devra s'effectuer l'attribution des droits auxquels peuvent donner lieu les différents usages dont sont susceptibles les eaux courantes, nous adopterons l'ordre que nous avons déjà suivi pour la description du système général des eau courantes d'un bassin.

Solution spéciale pour les sources et ruisseaux. — Nous remonterons aux premières radicelles élémentaires de ce système général des eaux.

Quand l'eau émerge de terre sous forme de *source* peu abondante, ses qualités utiles sont encore restreintes; elles n'intéressent qu'une faible surface du territoire et par suite, le plus généralement, elles n'intéressent qu'un petit nombre d'individus. De plus ces usages ne peuvent être réalisés que par une sorte de consommation de l'eau qui présente le caractère de bien fongible dont les qualités utiles sont détruites par le premier usage. Le droit reconnu à un seul individu ou à un petit nombre d'individus pourra alors demeurer exclusif. L'eau est, dans ce cas, susceptible d'appropriation et le droit de celui qui aura la faculté d'en user sera un droit de propriété analogue à celui qui appartient au détenteur de toute chose fongible.

L'attribution du droit à l'usage des qualités utiles de l'eau de source, c'est-à-dire du droit de propriété, ne pourra, par suite, beaucoup s'égarer. Elle devra porter sur ceux qui paraissent le plus intéressés à l'existence des qualités utiles de l'eau, sur ceux qui sont le plus à même et le mieux placés pour en tirer avantage. Elle devra être faite à ceux qui ont accès à l'eau, c'est-à-dire à ceux sur la terre desquels l'eau émerge et s'écoule. Ceux-là pourront s'en servir presque sans limite pour leur breuvage, le breuvage des animaux attachés à leur exploitation, pour leurs usages domestiques, l'arrosage des terres et autres usages élémentaires.

Du moment qu'il s'agit d'une propriété exclusive, l'attribution ne comporte que peu de restrictions ; restrictions d'ordre général consistant à ne porter aucun préjudice aux voisins, à ne pas exagérer notamment les gênes résultant pour les fonds inférieurs de la servitude d'écoulement dont nous aurons à dire un mot tout à l'heure.

Considérations qui peuvent influer sur l'attribution des droits. — L'eau qui s'écoule forme-t-elle un courant plus considérable, une plus vaste partie du territoire en subit l'influence. Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, l'eau courante agit plus profondément sur la fécondité de ce territoire dont elle entretient l'humidité et sur l'existence et le développement des êtres qui y séjournent. Le nombre et l'importance des qualités utiles du cours d'eau se développent, et en même temps il devient susceptible d'exercer une influence perturbatrice et dommageable. Au fur et à mesure que son débit augmente, le cours d'eau se trouve de plus en plus étroitement lié au système des eaux du bassin; prise dans son ensemble, et par le seul fait qu'elle s'écoule nécessairement, sa masse perd le caractère de chose fongible, elle échappe à l'appropriation exclusive au profit d'individus déterminés. Le cours d'eau prend le caractère de bien commun, susceptible d'usages divers et ne pouvant donner lieu qu'à des droits d'usage. La question d'attribution de droit à l'usage des qualités utiles devient d'autant plus délicate et plus complexe que la plupart des qualités utiles, destinées à un territoire plus étendu et à un nombre d'êtres plus considérable, ne pourront plus être affectées à leur destination par une action directe qui permette de les appliquer immédiatement aux usages qu'elles comportent. Chacun des intéressés ne viendra vraisemblablement pas se désaltérer ou puiser directement l'eau au ruisseau ou à la rivière, chacun n'y viendra pas prendre le poisson qu'il convoite, utiliser la force résultant de la pente et du courant ; des travaux d'adaptation seront nécessaires pour y puiser l'eau et recueillir les qualités utiles du cours d'eau.

Il ne s'agit plus seulement de déterminer qui jouira des qualités utiles de l'eau, mais aussi de désigner quels seront ceux qui auront la faculté d'exécuter les travaux d'adaptation. Il ne faut pas perdre de vue que si l'eau est considérée comme un bien commun, il n'en sera plus de même des ouvrages exécutés. Ces ouvrages, d'après les principes généraux du droit, resteront le bien exclusif de ceux qui les auront entrepris et qui conserveront seuls la faculté exclusive de s'en servir en constituant à leur profit une sorte de monopole. De plus, ces travaux exécutés en vue de s'emparer de qualités utiles peuvent être de nature à réagir non seulement sur l'équilibre hydraulique du bassin, mais aussi sur les autres qualités utiles de l'eau, dont ils peuvent, suivant les cas, altérer la pureté, réduire la force motrice, faire mourir le poisson.

Solution tendant à réserver à l'eau courante le caractère de bien commun. — On voit combien sont complexes les considérations qui doivent entrer en ligne de compte pour déterminer l'attribution des droits aux différents usages de l'eau courante. Le problème comporte évidemment plusieurs solutions que nous allons passer rapidement en revue.

Du moment où cette eau courante constitue le bien commun de tous ceux qui sont intéressés à ce qu'elle existe, à ce que son état d'équilibre ne soit pas rompu, on peut se demander s'il ne conviendrait pas de déclarer que personne n'aura de droits particuliers sur elle.

De deux choses l'une alors : il sera stipulé ou que l'usage de l'eau sera réservé à tous, ou qu'il sera régi par le représentant de la collectivité des intérêts qui seul aura le droit, directement ou par ses délégués, d'exercer une action sur l'eau, d'y puiser, d'exécuter les travaux nécessaires, pour en répartir équitablement les qualités utiles entre les divers intéressés.

Conséquence de cette solution. — On remarquera que si l'on aboutissait à une solution de cette nature, il faudrait au préalable réserver à tous ou au moins au représentant de la collectivité et à ses délégués l'accès à l'eau et qu'après avoir déclaré cette eau inappropriable, il faudrait également déclarer inappropriable une bande de terrain qui permette cet accès. Il faudrait priver de leur riveraineté les possesseurs des terres qui bordent le cours d'eau.

On voit de suite quelle serait la complication d'un semblable régime, quelle gêne serait imposée à la propriété territoriale, quelles entraves seraient apportées à l'initiative et à l'activité humaine.

Cette première solution ne serait justifiée que si elle s'imposait impérieusement par la force des choses. Mais en est-il ainsi?

Seconde solution. — Droit aux qualités utiles de l'eau attribué aux riverains. — Les sociétés humaines ne sont pas, en réalité, organisées de telle sorte que chacun soit tenu de pourvoir directement à la satisfaction de ses besoins, que chacun doive recueillir lui-même les qualités utiles des choses qu'il désire appliquer à son usage. Par la distribution naturelle des occupations dans un milieu social, chacun ne pourvoit pas directement à la satisfaction de ses besoins; — les rôles se répartissent. — Ce que je ne puis me procurer moi-même, je l'obtiens d'un autre moyennant rémunération. De même que je ne suis nullement privé de ne pouvoir faire pousser moi-même le blé nécessaire à la fabrication du pain que je consomme, de même je puis boire, sans aller moi-même puiser dans l'eau au ruisseau ou à la fontaine qui en contient l'approvisionnement.

Il n'y a aucune perversion des choses humaines, en ce qui concerne la plupart des qualités utiles des eaux, à ce que l'accès en soit monopolisé entre les mains de ceux qui le détiennent normalement. Il n'y a même

aucun danger sérieux que ces derniers n'abusent de leur monopole, sur tout dans un pays où la propriété du sol est très morcelée, car ceux qui seront dans ce cas deviendront forcément légion, et l'action de la concurrence ne tarderait pas à refréner leurs prétentions excessives.

Non seulement l'eau peut devenir un objet de commerce en tant que breuvage, en tant que liquide affecté aux usages domestiques ou servant à l'irrigation et à la submersion des terres, mais il en est de même des forces qu'elle renferme. Ces forces physiques peuvent être trouvées par d'autres combinaisons de l'intelligence humaine qui fera appel au vent, à la vapeur, à l'électricité, sans parler de la force musculaire des êtres animés.

En outre, l'accès à l'eau peut devenir lui-même un objet de commerce si les intéressés trouvent un avantage quelconque à en avoir l'accès direct, comme dans le cas de baignades, de promenades, de distractions quelconques.

Dans ces conditions, le mal ne saurait être très grand que l'accès de l'eau soit monopolisé à l'égard du plus grand nombre des usages qu'elle comporte. Ce qui ne s'obtient pas librement s'obtient par la voie des contrats.

Rien ne s'oppose donc, — et cela sans faire perdre aux eaux courantes leur caractère de bien commun, — à ce que le droit aux divers usages de l'eau soit accordé à certains individus déterminés ou à certaines catégories d'individus. Rien ne s'oppose même à ce que la faculté d'exécuter certains ouvrages, pour s'emparer des qualités utiles de l'eau, ne soit également accordée à des personnes déterminées, à la condition que cette faculté ne soit pas exclusive.

Ici encore, cette faculté pourra et devra même être accordée à ceux qui sont le mieux placés pour en recueillir les divers avantages, c'est-à-dire à ceux qui sont normalement en contact direct avec le cours d'eau, aux possesseurs des terres riveraines, par cette considération qu'ils en ont l'accès. Il suffira de bien spécifier que chaque usage spécial qu'ils feront des eaux, pour leur avantage personnel, aussi bien que comme objet de commerce, ne devra pas être dommageable à l'équilibre du cours d'eau, non plus qu'aux autres qualités utiles des eaux qui continuent leur cours. C'est là au surplus une stipulation empruntée au droit commun et attachée à toutes les actions humaines.

Réserves à faire pour certaines qualités utiles. — L'attribution sera d'ailleurs, avons-nous dit, entourée de restrictions de plus en plus grandes, au fur et à mesure que le cours d'eau prendra plus d'importance, que son volume augmentant, le nombre des qualités utiles qu'il comporte se multipliera et que le nombre de ceux qui sont intéressés à ce qu'il subsiste dans son état normal deviendra plus considérable[1]. Elle ne pourra en

1. Pour un cours d'eau d'un faible débit, il suffira, ainsi qu'on l'a déjà dit, d'imposer

outre être consacrée que réserve faite des qualités utiles qui, par leur nature, ne se prêtent pas à une attribution spéciale. Réserve faite, à mon avis, et pour préciser le sens de cette observation, de la faculté de pêcher, réserve faite aussi dans certains cas et suivant les conditions locales, de la faculté pour les populations qui avoisinent le cours d'eau d'y venir chercher l'eau nécessaire aux usages primordiaux.

Régime de la réglementation. — C'est à l'État, au législateur, parlant au nom de la communauté, qu'il appartiendra de donner une formule au droit d'usage, de définir les restrictions à l'exercice du droit attribué.

Une réelle difficulté se présente ici pour le législateur. Elle tient à l'immense diversité des circonstances qui peuvent se produire.

Il devra évidemment régler dans les grandes lignes les conditions de l'attribution. Il indiquera les usages qui sont réservés aux riverains, ceux qui ne leur sont pas accordés; mais il a de plus à spécifier les limites imposées à leur action, à leur droit, et surtout les limites qui tiennent à la situation respective des intéressés en présence.

En ce qui concerne les usages *élémentaires* de l'eau, les restrictions peuvent à la rigueur ne comporter qu'une formule générale assez élastique : les usages doivent être tels qu'ils ne soient pas dommageables aux autres intéressés. En ce qui concerne les usages que nous qualifierons d'*extraordinaires* et qui exigent des travaux d'aménagement[1], on voit de suite que ces restrictions doivent être plus étroites et que les usages de l'eau ainsi que les conditions dans lesquelles seront exécutés les ouvrages destinés à recueillir les eaux ou les forces qu'elles recèlent, pourront appeler une réglementation de la part d'une autorité supérieure, chargée de tenir la balance égale entre les divers intéressés qu'elle représente.

Ici se pose une grave question d'ordre général correspondant à deux systèmes distincts.

La loi ne peut prévoir tous les cas susceptibles de se produire et, après avoir défini dans leurs grandes lignes les conditions générales de l'attribution, elle sera nécessairement amenée à déléguer une partie de son pouvoir à une autorité spéciale qu'elle instituera à cet effet.

Quelle sera cette autorité?

Premier système. — Institution d'un pouvoir réglementaire. — Le

par voie de restriction aux usagers, c'est-à-dire aux riverains, l'obligation de ne pas altérer la qualité de l'eau qui leur échappe après qu'ils y ont puisé les avantages qui leur sont utiles, de ne pas la polluer. Pour un cours d'eau plus important, on imposera de plus à l'usager, également à titre de restriction de son droit l'obligation de ne pas altérer sensiblement la consistance, le débit et la pente.

1. Saignées pour distribuer les eaux, en vue de l'irrigation des terres situées dans le voisinage, ou de la submersion des prairies et des vignes; conduite à distance pour l'alimentation des centres habités; création de forces motrices utilisées pour la mise en marche du mécanisme d'usines spéciales, etc....

législateur pourra instituer une autorité spéciale qui sera une autorité *administrative* à laquelle incombera la mission de déterminer, dans de minutieux détails, la quantité d'eau à prendre, le mode d'exécution des ouvrages à établir, leur fonctionnement, les conditions à remplir pour que ce fonctionnement ne soit pas susceptible d'altérer la pureté des eaux, de nuire au poisson, de modifier les conditions générales d'écoulement, la pente et le débit des parties inférieures.

Second système. — Régime du droit commun. — Ou bien le législateur pourra se borner à se référer aux règles générales de droit commun, à savoir que le riverain qui exécute ou au nom duquel on exécute des entreprises de cette nature sur les cours d'eau, ne fasse rien qui porte un préjudice direct ou indirect à autrui; demeurant entendu que quiconque a causé un préjudice peut être tenu sur la réclamation de celui qui subit le dommage, non seulement de faire cesser ce dommage, mais encore de réparer le préjudice causé.

Dans ce second système le législateur laisse à l'autorité *judiciaire* le soin de réprimer toutes actions irrégulières et dommageables, se fiant à la répression pour empêcher ces actions de se produire. Les intéressés n'ont plus alors à s'appuyer sur un texte précis pour faire valoir leurs droits et en affirmer l'étendue. Ces droits résultent de la nature des choses, des circonstances locales, de la position respective des intéressés, de l'antériorité de l'usage, de présomptions diverses, de la nécessité de maintenir entre les intéressés un équilibre raisonnable et logique. Chacun reste libre d'apprécier, d'après les données de la raison, la mesure dans laquelle il peut faire usage de l'eau, mais reste également soumis à l'appréciation inverse de ceux qui ont des intérêts connexes.

Avantages respectifs des deux systèmes. — De là donc deux systèmes généraux qui peuvent être désignés sous les noms de *système préventif* et de *système répressif*. Le premier limitant plus ou moins exactement et d'une façon préalable la faculté d'agir du titulaire du droit, le second n'imposant pour les usages extraordinaires aussi bien que pour les usages ordinaires d'autre limite à l'exercice des droits que l'obligation de ne causer aucun préjudice à autrui et de réparer le préjudice causé.

La complexité des choses humaines ne permet jamais à aucun système de ce genre de recevoir une application absolue. Il doit toujours comporter de nombreux tempéraments. Aussi peut-on dire que l'adoption de l'un ou de l'autre système ne peut que marquer une tendance.

Notons que dans l'un et l'autre système, les qualités utiles de l'eau doivent être soumises à une sorte de hiérarchie qui sert de guide au pouvoir réglementaire ou à l'autorité judiciaire. C'est ainsi, par exemple, que les usages correspondant aux qualités élémentaires priment généralement les autres, et que l'eau d'un cours d'eau devra presque toujours être réservée

d'abord pour servir à l'alimentation des êtres animés qui vivent le long de son cours et dans son voisinage. J'emploie encore ici une expression un peu dubitative, parce que cette hiérarchie elle-même n'a rien de fixe ni d'immuable qui permette de déterminer *à priori* et pour toutes les circonstances, l'ordre de prééminence de tel ou tel usage. Suivant la densité de la population, les moyens plus ou moins nombreux dont elle dispose pour se procurer l'eau qui lui est nécessaire, l'ordre de prééminence pourra être interverti et la prééminence donnée à l'arrosage, à l'irrigation, et même à la force motrice. On voit d'après ce qui précède que, même dans le système préventif et réglementaire, la loi attributive doit être très large et suffisamment élastique, de manière à laisser au pouvoir administratif ou à l'autorité judiciaire les moyens de se modeler sur les circonstances.

Sans se prononcer sur l'option à faire entre les deux systèmes qui, ni l'un ni l'autre, ne comportent d'applications absolues, il y a lieu de faire remarquer que lorsqu'il s'agit des usages ordinaires de l'eau, le système préventif ne peut guère intervenir et serait impuissant; que lorsqu'il s'agit au contraire des usages extraordinaires, il peut, dans un assez grand nombre de cas, y avoir un réel intérêt à ce que ceux qui sont appelés à faire usage de l'eau soient fixés sur l'étendue de leurs droits, mais ceci toujours autant que la nature des choses le comporte et sous la réserve des droits des tiers.

D'une manière générale, j'incline, pour ma part, vers une assez large application du système répressif, c'est-à-dire vers la réduction aussi grande que possible des limites préalables et des formalités réglementaires. Sous le seul empire du droit commun, les limites apportées à l'usage de chacun, conservent plus de souplesse. Une certaine jurisprudence s'établit *en fait* dans chaque région et finit par régler d'une façon suffisamment précise les droits de chacun.

Comment se perdent les droits des riverains. — J'ai dit déjà qu'il me paraissait y avoir des motifs indiscutables à ce que la faculté d'user de la plupart des qualités utiles de l'eau, sur un cours d'eau d'ordre secondaire, soit reconnue au riverain par cette considération qu'il a l'accès et que la faculté d'user est par la force des choses subordonnée à l'accès. L'attribution ainsi faite, le riverain ne pourra être dépouillé de son droit d'accès que par une vente, c'est-à-dire par la voie d'un contrat librement consenti ou par voie d'expropriation. Ceux qui voudront exercer une action directe sur l'eau et profiter des avantages qu'elle procure, devront acheter au riverain son droit d'accès et les avantages qui y sont inhérents. Ceux-ci, au surplus, ne pourront lui acheter que ce dont il disposait, c'est-à-dire un droit d'usage raisonnable et ne portant pas préjudice aux intérêts des autres riverains, non plus qu'à l'ensemble des qualités utiles de l'eau.

Réserve des droits supérieurs de la Société. — Il est bien entendu, en

outre, que la société, que la loi positive conservent, dans un intérêt d'utilité publique, la faculté supérieure non seulement d'exproprier le riverain de son droit d'accès et de son droit à divers usages de l'eau, mais encore de déclarer que l'eau courante étant le bien commun de la région qu'elle traverse, cette eau pourra, sous réserve de la réparation du préjudice causé au riverain, être distribuée aux populations agglomérées du voisinage, ou servir à l'arrosage, à l'irrigation, à la submersion des terres voisines, mais qui ne jouissent pas du bénéfice de la riveraineté immédiate, ou même encore être classée dans une nouvelle catégorie de biens dont nous parlerons tout à l'heure, *le domaine public.*

V. — Du droit de pêche.

Nouveau caractère de l'eau courante comme fonds de pêche. — Parmi les qualités utiles de l'eau courante, il y en a une que, jusqu'à présent, je me suis borné à mentionner, je veux parler de la qualité que présente l'eau de servir de milieu à la production et au développement du poisson. Cette qualité utile de l'eau diffère essentiellement de celles que nous avons examinées jusqu'ici. A l'égard de la production du poisson, l'eau qui ne nous était encore apparue que comme une masse générale commune dans laquelle chacun de ceux qui en ont l'accès vient puiser les qualités utiles suivant une mesure à déterminer, prend, au point de vue de la classification des biens, un caractère tout différent; elle devient un véritable *bien foncier*, susceptible d'une culture et d'une exploitation propres à lui faire produire certains fruits qu'il comporte.

Elle présente cependant avec les biens fonciers dépendant du sol solide, des différences caractéristiques résultant de la nature spéciale du fruit que nous envisageons, le poisson. Comme le milieu où il prend naissance, ce fruit est mobile, et circule de la source à l'embouchure des cours d'eau, de telle sorte que celui qui voudrait exploiter ce fonds spécial devrait pouvoir suivre le fruit dans toute l'étendue de ses pérégrinations. Le fonds auquel est rattaché ce fruit n'est donc pas, comme les biens fonciers dépendant de territoires agricoles, susceptible de morcellement. Il correspond par sa destination même à toute l'étendue du bassin hydrographique dans lequel circule le fruit. Il me paraît donc contraire à la nature des choses de laisser à tout venant la faculté de recueillir ce fruit lorsqu'il se trouve à sa portée.

Complication nouvelle apportée dans l'attribution des droits. — Cette modification du caractère général de l'eau, au point de vue d'une de ses qualités utiles, devient l'origine d'une complication nouvelle dans l'attribution des droits aux usages inhérents à un cours d'eau. Elle fait naître une réelle difficulté dans la détermination de cette attribution spéciale.

Dans la plupart des sociétés, on s'est tiré de cette difficulté en classant le poisson dans la catégorie des biens sans maître, *res nullius*, et, comme il importait de protéger ce bien qualifié de *res nullius* contre les déprédations qu'aurait entraînées cette situation anarchique, comme il fallait indiquer quand même qui aurait le droit de s'en emparer, cette faculté a été généralement, ainsi que les autres droits sur les eaux courantes, attribuée encore aux riverains, chacun au droit de sa propriété. Du moment que ce bien était considéré comme sans maître, on s'est contenté de régler l'action qui pouvait être exercée sur le poisson par les lois de police, on s'est abstenu de définir et de protéger le *fonds* même d'une façon explicite.

Je dois dire, à la vérité, que cette lacune de la législation a été atténuée ou corrigée, dans certains pays, par le mode de distribution de la propriété foncière, par ce fait notamment que le territoire des bassins les plus poissonneux s'est trouvé réparti entre un petit nombre de propriétaires et qu'une entente a pu s'établir entre ceux-ci pour une exploitation rationnelle du fonds de pêche.

Je ne veux pas insister ici sur ce côté de la question des eaux courantes; mais, en somme, j'estime qu'au point de vue légal, une solution conforme à la nature spéciale du bien que je viens de caractériser, le fonds de pêche, n'a encore été trouvée dans aucune législation, et je maintiens que, même pour les cours d'eau d'ordre secondaire que nous venons d'envisager, il serait désirable que l'attribution du droit de pêche fût réservée à l'État, représentant naturel de tous ceux qui sont intéressés à l'existence des eaux du bassin, sauf à lui à régler rationnellement le mode d'exploitation de ce bien spécial.

VI. — Des droits sur le lit et les berges.

L'eau et le lit forment un tout indivisible. — Nous avons encore à parler du lit et des berges des cours d'eau.

Nous venons d'établir que l'eau courante proprement dite ne pouvait donner lieu à aucun droit exclusif de la part de ceux qui sont à même d'y rechercher les qualités utiles qu'elle renferme; qu'elle restait, par sa nature, par la place qu'elle occupe dans l'équilibre matériel et social, un bien commun dont personne ne pouvait poursuivre l'appropriation exclusive. Il y a lieu de se demander si les mêmes principes seront applicables au lit et aux berges du cours d'eau, c'est-à-dire au récipient à travers lequel s'effectue son écoulement.

A priori, on peut répondre qu'il n'y a pas de question quand il s'agit d'un cours d'eau nettement constitué. L'eau et le récipient forment un tout inséparable dont les parties ne peuvent recevoir un sort différent. On

ne peut concevoir qu'il soit loisible à un membre de la communauté qui n'a pas la faculté de détruire l'équilibre du cours d'eau, de prétendre s'emparer du lit et d'exercer sur ce lit l'action d'un propriétaire. S'il comporte des usages spéciaux (extraction de matériaux, culture de végétations particulières), le lit, comme l'eau courante elle-même, sera susceptible de droits d'usage correspondants, mais non de devenir l'objet d'une propriété exclusive.

Propriété éventuelle du lit. — Le seul point à régler est celui, non de la propriété actuelle du cours d'eau laquelle ne peut exister, mais de la propriété éventuelle; et ici, je reconnais qu'il y a intérêt à régler d'avance cette éventualité. L'eau, par sa nature fluide, est susceptible de se déplacer assez fréquemment, et il est bon de préciser d'avance à qui reviendra la portion de territoire ainsi libérée de l'affectation qu'elle avait précédemment. Non seulement le cours d'eau se déplace dans son ensemble, mais son volume subit des oscillations qui successivement couvrent et découvrent certaines parties du sol, et il est bon que ces parties ainsi libérées soient livrées à l'exploitation de personnes ayant titre pour leur faire subir une culture utile. L'attribution de ce droit éventuel, qui peut devenir un droit de propriété quand le retrait de l'eau paraîtra définitif, se fera encore d'après les règles que nous avons indiquées, c'est-à-dire à celui qui sera le mieux placé pour recueillir les avantages inhérents à ce bien devenu libre.

Cette attribution naturelle n'a jamais été contestée au riverain pour les portions que découvrent les eaux en se retirant; mais, dans certaines législations, on a tenu à considérer les lits abandonnés comme des biens vacants et sans maîtres, que la société pouvait se réserver ou qui devaient être attribués, à titre de compensation, aux propriétaires fonciers des terres sur lesquelles le cours d'eau s'était créé un nouveau lit. J'estime, pour ma part, que cette solution est irrationnelle et n'est pas en conformité avec la nature des choses. L'ancien riverain reste toujours le mieux placé pour la mise en valeur du lit abandonné, et c'est lui qui doit profiter de l'éventualité que nous envisageons. D'autre part, il est dans l'ordre de la nature que les eaux trouvent leur écoulement, et c'est en vertu d'une sujétion naturelle que les propriétaires du sol doivent subir cet écoulement qui ne donne lieu à aucune compensation. Le seul droit qui appartient à chacun est de défendre son bien. Le propriétaire du lit envahi aura donc la faculté de faire les travaux nécessaires pour forcer le cours d'eau à reprendre son ancienne direction, tandis que le possesseur du lit ancien ne pourra s'y opposer, en vertu de ce principe qu'il n'est loisible à personne de s'enrichir au détriment d'autrui.

Ajoutons enfin que lorsqu'il s'agit de cours d'eau de peu d'importance et que la position spéciale du lit n'intéresse pas l'équilibre de la vallée et du cours d'eau lui-même, rien ne s'oppose à ce que le possesseur du li

traversé n'en modifie la direction, ne resserre dans un lit régularisé une eau qui divague, à la condition qu'il agisse dans les limites du sol qui lui appartient. Il demeure toutefois entendu que, partout où l'eau coule à l'état de courant régulier, le lit et le cours d'eau reprennent l'un comme l'autre leur caractère de bien commun et leur solidarité intime dans ce caractère de communauté.

VII. — Des servitudes.

Fausse acception donnée au mot « servitude ». — Les questions relatives au lit des cours d'eau nous ont amené à parler des rapports, des contacts intimes qui existent entre l'eau qui s'écoule et les territoires qu'elle traverse. Ces deux catégories de biens agissent et réagissent sans cesse l'une sur l'autre et se limitent réciproquement d'une façon continuelle. C'est là un fait naturel d'ordre supérieur qui s'impose aux relations humaines aussi bien qu'au législateur humain. On a souvent employé, pour caractériser ces empiétements respectifs de deux biens l'un sur l'autre, l'expression de *servitude*. Il me semble qu'en le faisant, on a mal caractérisé le phénomène et que l'on a détourné le mot *servitude* de sa véritable acception.

Toutes les fois qu'il s'agit de phénomènes nécessaires, résultant de l'ordre naturel des choses, il ne peut y avoir place à *servitude*. L'eau s'écoule et doit s'écouler, et le fait qu'elle occupe une portion de territoire ne constitue pas une servitude pour ce territoire, pas plus que l'on ne peut considérer comme une servitude pour lui le fait de recevoir les eaux pluviales ou même celles qui, à certains moments, s'écoulent avec impétuosité, sous forme de torrent, du sommet des coteaux ou des montagnes, pas plus encore que l'obligation de subir les rafales de l'ouragan, l'invasion des insectes, etc. Toutes ces choses résultent de la mise en jeu des forces de la nature, mise en jeu souvent déréglée, perturbatrice et funeste, contre laquelle les hommes ont le droit de se défendre, mais dont ils ne peuvent imputer les effets à une action humaine, et dont ils ne sont pas fondés à demander la réparation à d'autres possesseurs de biens ou à la société dont ils font partie.

Véritables servitudes. — A mon sens, il n'y a servitude que lorsqu'une personne ou le bien dont elle est titulaire sont soumis à une action qui ne résulte pas de la force des choses. Il y a servitude, par exemple, lorsque le possesseur d'un fonds supérieur détourne les eaux de leur cours naturel, ou même de leur cours actuel pour les faire passer indûment sur un territoire qui n'était pas soumis à leur écoulement. Il y a servitude lorsque pour l'exploitation d'un fonds, par exemple pour y amener une

eau sur laquelle il a des droits, un tiers traverse une propriété qui n'est pas sienne.

Servitudes contractuelles, servitudes légales.—Ces choses ne peuvent être ordinairement faites qu'avec l'assentiment de ceux qui sont les titulaires des fonds soumis à la servitude. Aussi peut-on dire que généralement une servitude ne se conçoit qu'à la suite d'une entente, qu'à la condition qu'elle soit contractuelle.

La loi positive n'intervient alors que pour régler les conditions dans lesquelles s'effectuent les contrats et non comme autorité attributive.

Cependant, dans certaines circonstances assez rares, la loi positive peut être amenée à modifier elle-même l'ordre qu'elle a reconnu et sanctionné. Il en sera ainsi lorsqu'un cours d'eau traversant deux domaines distincts, la loi imposera à chaque riverain l'obligation à titre général de laisser prendre sur sa rive un appui pour l'établissement d'un barrage, ou lorsqu'elle réservera le passage sur chaque rive en vue de l'exécution de certains services, ou encore lorsqu'elle assujettira les fonds riverains à l'obligation de subir le passage des eaux destinées à l'irrigation de terres qui ne jouissent pas directement de la riveraineté.

Les servitudes générales que constitue ainsi la loi positive sont des *servitudes légales*. Ces servitudes, édictées dans un intérêt social, viennent en quelque sorte compléter, en la restreignant ou en l'augmentant, suivant les cas, l'investiture d'un droit reconnu et établi d'après des bases tirées de l'ordre naturel des choses et des nécessités sociales.

VIII. — Fleuves et rivières navigables.

Fleuves et rivières où l'intérêt de la navigation n'est pas prépondérant. — Les observations que nous avons présentées jusqu'ici se sont appliquées aux cours d'eau d'ordre secondaire. Tout en réservant le caractère de bien commun qui leur est propre, nous avons pu conclure à l'attribution aux riverains du droit de faire usage de la plupart des qualités utiles que comportent ces cours d'eau. Il y a lieu d'examiner si la même solution est encore admissible quand le volume et le débit normal et régulier du cours d'eau s'accroissent et que ce cours d'eau peut se prêter à un nouvel et important usage important, la *navigation*.

L'intervention de ce nouvel usage apporte une limite de plus à l'exercice des usages divers que nous avons déjà passés en revue et rend de plus en plus complexe la conciliation à établir entre eux. Elle vient affirmer d'une façon plus nette le caractère de communauté de l'eau courante.

On est par suite fondé à se demander de nouveau s'il n'y a pas lieu, à

l'égard des cours d'eau navigables, et comme moyen d'établir une raisonnable pondération entre les divers intérêts en jeu, de retirer aux riverains les facultés qui leur étaient accordées sur les cours d'eau de moindre importance, de réserver aux représentants de la communauté l'usage exclusif de toutes les qualités utiles qu'ils comportent.

Nous repassons, ici, par une série de considérations analogues à celles que nous avons rencontrées précédemment. Il n'est possible de réserver à la communauté l'usage de l'eau, qu'à la condition de reprendre, pour la communauté, l'accès à l'eau, c'est-à-dire de soustraire au régime de l'appropriation exclusive une bande de terrain qui permette cet accès aux représentants de la communauté et au public lui-même.

Y a-t-il lieu dans tous les cas, et par le seul fait de la navigabilité d'un cours d'eau, de recourir à une solution aussi radicale? Il convient sans doute encore de distinguer.

Nous avons vu précédemment que les divers usages de l'eau étaient soumis à une certaine hiérarchie variable suivant les circonstances. La prééminence manifeste de la navigation sur les autres usages sera le criterium de la détermination à prendre.

Si, par exemple, la navigation n'est pas susceptible de grands développements, les intérêts qui s'y rattachent pourront être primés par ceux de l'alimentation, de l'agriculture, de l'industrie, de la pêche.

Rien ne s'oppose d'une façon absolue à ce que, dans cette hypothèse, l'accès du cours d'eau reste un avantage attaché à la riveraineté. Cette attribution exclusive de l'accès, nous l'avons vu, n'apporte pas un obstacle insurmontable à ce que tous ceux qui auront à faire usage du cours d'eau, comme voie navigeable, n'obtiennent des riverains la faculté d'accès qui leur est nécessaire. La faculté d'accès deviendra alors l'objet d'un trafic qui se régularisera comme tous les trafics humains. Les riverains, pour attirer la clientèle de la navigation, seront même conduits à améliorer ces accès, à niveler des ports et à prendre les mesures propres à faciliter les opérations d'embarquement, de débarquement ou de manutention des éléments de trafic.

Leur intérêt, agissant comme ressort naturel, ressort providentiel que nous retrouvons dans toutes les entreprises humaines, sera le meilleur garant que tous les autres intérêts en jeu seront sauvegardés.

Cette solution, qui consiste à maintenir à la série des riverains l'accès à l'eau, et comme conséquence le bénéfice de l'usage direct de l'eau, en tant que voie navigable, en même temps que les différents usages que nous avons déjà nommés, paraît même (je n'hésite pas à le déclarer) la plus simple et la plus rationnelle toutes les fois qu'il s'agit de cours d'eau susceptibles d'une fréquentation restreinte, car elle évite la concentration toujours fâcheuse entre les mains de l'État, personnalité morale dépourvue du stimulant de l'intérêt, de la fonction d'aménager et d'administrer toutes les qualités utiles inhérentes à une eau courante.

Fleuves et rivières où l'intérêt de la navigation devient prépondérant. — Cette solution cependant cesse d'être rationnelle quand l'intérêt de la navigation devient tellement prépondérant que toutes autres qualités utiles de l'eau lui sont subordonnées. A ce moment, assez difficile d'ailleurs à préciser, il devient nécessaire d'enlever aux riverains qui, dans la portion supérieure du cours d'eau, centralisaient l'exercice d'un certain nombre de droits, l'attribution qui leur était jusqu'alors conférée. Cette attribution de droits sera réservée au représentant de la collectivité des intérêts, à l'État généralement. A l'État incombera la fonction d'administrer et d'exploiter, dans l'intérêt de tous, l'ensemble des qualités utiles du cours d'eau, rivière ou fleuve.

Du domaine public fluvial. — Ses caractères. — L'eau courante, rivière ou fleuve, est alors classée dans une nouvelle catégorie de biens caractérisée par ce fait que le droit à l'usage de l'ensemble de ses qualités utiles se trouve concentré sur un seul titulaire qui est précisément l'incarnation des intérêts solidaires de la communauté. Le droit de l'État sur un cours d'eau de cette nature devient général, exclusif et absolu. Personne n'a plus virtuellement le droit d'y puiser, de prélever une ou plusieurs des qualités utiles inhérentes à l'eau. Le droit de l'État ressemble à cet égard au droit de propriété, il est même plus étendu encore que le droit de propriété; il est soumis à des limites moins étroites et, dans un grand nombre de cas, au lieu d'être limité par l'existence de propriétés voisines, il deviendra lui-même l'origine de limites imposées aux propriétés privées qui l'entourent. Le bien nouveau ainsi constitué reçoit le nom de *Domaine public*. Il perd dans une certaine mesure le caractère de *bien commun*, dans le sens ordinaire du mot, puisque la faculté d'en user est enlevée à ceux qui pourraient y accéder, puisque le titulaire seul aura la faculté d'en disposer et que personne ne pourra en recueillir directement les avantages qu'en vertu de sa permission ou de sa tolérance. En réalité, le domaine public n'est plus un *bien commun*, mais un bien spécial constitué dans l'*intérêt commun*. Il possède encore un caractère distinctif, celui d'être inaliénable. Le titulaire peut disposer des usages qu'il comporte, mais non du bien lui-même dans son ensemble, il peut en aliéner les fruits et les services, il ne peut aliéner le fonds lui-même.

Rôle de l'État. — Après avoir esquissé les caractères généraux de ce nouvel ordre de biens, le *domaine public fluvial*, il y a lieu de compléter la notion du titulaire, de son rôle, de ses fonctions sociales, d'examiner comment il exercera les droits qui lui sont attribués et de classer ces droits eux-mêmes au point de vue du mode d'exercice dont ils seront l'objet.

L'État est une personne morale. Cette personne morale n'agit pas par elle-même; son action s'exerce forcément par l'intermédiaire d'un orga-

nisme emprunté au milieu social dont elle émane, dont elle incarne les intérêts. Cet organisme est l'organisme gouvernemental.

Du moment que l'État est le représentant des intérêts solidaires d'une agrégation nationale, il doit ne se manifester et n'agir qu'en vue de ces intérêts solidaires. Son rôle, à l'égard des eaux domaniales, consiste à les faire servir à leur destination naturelle et à répartir la faculté d'en tirer les avantages qu'elles comportent, de manière à assurer le mieux possible la réalisation de leurs destinations diverses dans l'équilibre matériel et social.

Fonctions de l'État à l'égard du domaine public fluvial. — A ce titre, l'État est investi d'un triple ordre de fonctions : fonctions d'administrateur, fonctions de police, fonctions de propriétaire.

Comme *administrateur*, il aura à maintenir la balance égale entre tous les intérêts en jeu; il lui appartiendra d'apprécier la hiérarchie qui, suivant les circonstances, s'établit entre les qualités utiles de l'eau entre les usages qu'on en peut faire; il aura à apprécier également le mode d'action à employer pour ne sacrifier aucun intérêt.

Toutes les fois qu'une qualité utile se présente dans des conditions d'abondance telle que tous ceux qui ont à y recourir, peuvent le faire sans risquer d'épuiser la masse, le rôle de l'autorité sociale se borne à veiller à ce que le mode d'usage de cette qualité utile ne soit pas désordonné ni susceptible d'entraîner une gêne ou un dommage pour les autres usagers. Il exerce surtout alors une *fonction de police*. Il en est ainsi notamment quand la masse des eaux d'une rivière ou d'un fleuve est envisagée comme élément devant servir au breuvage des hommes et des animaux, à l'arrosage des plantes, aux divers usages domestiques. Ces usages correspondent en effet aux destinations primordiales de l'eau courante et les prélèvements opérés directement dans cet ordre d'idées ne seront presque jamais, s'ils sont effectués d'une manière raisonnable, de nature à altérer la consistance du cours d'eau et à préjudicier aux usages d'un autre ordre auxquels il est appelé à pourvoir.

Les usages auxquels une eau courante peut donner lieu n'ont pas tous ce même caractère. Certaines qualités utiles se trouvent concentrées sur des points déterminés, elles ne peuvent être dégagées qu'en quantité limitée; quoique dépendant d'un bien commun, elles ne peuvent être recueillies que par un petit nombre de personnes; quelques-unes d'entre elles exigent une exploitation; elles constituent alors au profit de ceux auxquels elles sont accordées un avantage privatif; elles sont assimilables à des biens privés. A leur égard l'État agit comme *propriétaire*.

Un bien commun peut être exploité ou directement par le titulaire, ou affermé à un tiers qui en vendra lui-même les fruits et les produits. L'État agira de même à l'égard de celles des qualités utiles du cours d'eau domanial qui ne peuvent donner lieu qu'à des usages privatifs, par exemple en ce qui concerne l'exploitation des francs bords, des berges, de la pêche, de

la force des chutes d'eau. La plupart du temps il sera conduit à recourir à l'affermage.

En dehors des qualités permanentes, un cours d'eau peut présenter des qualités accidentelles, comme celles qui résultent de l'existence d'eaux surabondantes qui ne sont pas indispensables à la destination essentielle de ce cours d'eau. Ces eaux peuvent être employées, par exemple, à l'irrigation ou à la submersion de terrains qui ne sont pas situés dans le voisinage immédiat du cours d'eau. La jouissance de ces eaux constituera encore au profit de ceux auxquels elle sera accordée un avantage privatif et devra donner lieu à un contrat spécial dans lequel l'État interviendra encore à titre de propriétaire.

En définitive, l'État agit comme propriétaire toutes les fois qu'il se trouve en face d'un avantage ayant par nature le caractère de bien privatif.

Rôle de l'État à l'égard des travaux d'amélioration de la navigabilité. — Son mode d'action va cependant recevoir une modification profonde lorsque l'exploitation des qualités utiles d'un cours d'eau domanial exigera l'exécution de travaux et d'ouvrages préalables et qu'il sera nécessaire d'entreprendre sur le fonds même du cours d'eau. La faculté de modifier la contexture naturelle du fonds domanial est une attribution essentielle de la souveraineté; ce n'est plus comme propriétaire que l'État peut agir, mais comme souverain, chargé de la gestion des intérêts solidaires.

Quand il y aura lieu notamment de perfectionner un cours d'eau domanial pour en augmenter la puissance comme voie navigable, l'action à exercer sur ce cours d'eau ne pourra être autre que celle du souverain.

Il est, certes, bien évident que tant qu'un cours d'eau est navigable de son propre fonds, sans intervention d'aucun travail humain, l'action de l'autorité sociale, du gouvernement, devra se borner à régler l'usage qui en sera fait par tous ceux qui se présenteront pour y naviguer; sa fonction sera surtout une fonction de police. Mais il n'en est pas ordinairement ainsi. Dans un pays où la population est dense, où les relations sont actives, les rapports commerciaux développés, une voie navigable, laissée à son allure naturelle, ne tarde pas à être reconnue insuffisante. Cette voie navigable, si la circulation y est active, appelle des aménagements; il sera utile d'exécuter dans le lit du fleuve, sur ses berges et sur ses abords, des travaux d'amélioration. Non seulement il convient de réserver des emplacements pour les ports, mais on est amené à rectifier les berges et le chenal, à corriger la pente, à approfondir et à régulariser le lit. Ces travaux sont dispendieux et, bien qu'exécutés sur un domaine commun, ils sont destinés à rendre des services spéciaux à certains usagers. Ils constituent à côté du domaine commun un bien distinct, susceptible par conséquent d'une exploitation séparée. Quel sera le régime de ces biens d'une nature particulière? Quels seront les droits de l'État à l'égard de ces biens? Comment et sous quelle forme pourra-t-il les exercer?

Notons tout d'abord que l'exécution des travaux dont il s'agit exige des avances. Il en est de même en ce qui concerne l'organisation de l'exploitation. Or l'État n'a pas virtuellement de ressources pour faire face à ces avances. Ces ressources, s'il veut exécuter et exploiter lui-même, il sera obligé de les demander ou à la communauté qu'il représente, ou aux usagers réunis en association spéciale.

La seconde solution présente de telles difficultés d'application tenant à l'impossibilité de connaître d'avance et de grouper les usagers futurs des travaux exécutés, qu'on peut *à priori* l'écarter. Voyons donc comment l'État pourra procéder pour exécuter et exploiter par ses propres moyens.

Mode d'action direct de l'État. — L'État pourra demander les sommes nécessaires aux ressources générales du budget, c'est-à-dire à l'impôt; mais il sera souvent arrêté dans cette voie par la considération que l'avantage créé à titre onéreux n'est pas également profitable à tous les membres de l'agrégation nationale qui contribuent à alimenter le budget. Il pourra alors constituer l'amélioration qu'il veut poursuivre à l'état d'entreprise spéciale, analogue aux entreprises ordinaires de droit commun, devant se rémunérer elle-même par un prélèvement, à titre de prix du service rendu, sur les avantages qu'il doit procurer à ceux qui y auront recours.

Dans l'une et l'autre de ces hypothèses, et quel que soit le système adopté pour se procurer des ressources, l'État sera obligé d'adjoindre à son organisme normal, un organisme spécial destiné à devenir l'agent d'exécution de l'entreprise.

Des concessions. — Droits des concessionnaires. — Ici encore le mode d'action que nous décrivons peut se modifier. Les moyens d'action pour conduire une semblable entreprise peuvent faire défaut à l'État, et il peut être amené à considérer qu'il est préférable de déléguer à un tiers le soin de pourvoir à la direction et à l'exploitation de l'entreprise qu'il a en vue. Cette délégation d'une certaine partie des droits inhérents à sa souveraineté prend le nom de *concession*.

Il est bien évident, au surplus, que l'État ne pourra déléguer que ce dont il dispose lui-même et transférer à un concessionnaire des facultés plus étendues que celles que lui attribue son titre de représentant souverain des intérêts solidaires de la nation. La concession devra donc nécessairement sauvegarder la faculté pour les membres de la nation de jouir, sous le régime créé, des qualités primordiales des eaux. Elle devra préciser également quelles sont les qualités utiles sur la translation desquelles elle porte, de telle sorte que celles qui en sont exclues ne reçoivent aucune atteinte du fait des travaux et de l'exploitation du concessionnaire.

Enfin, du moment que le titre d'administrateur du domaine public est inhérent à son essence, l'État ne peut s'en dépouiller d'une façon définitive, et s'il concède à un tiers la faculté d'exercer en son lieu et place une

partie des fonctions sociales qui lui sont dévolues, il ne peut le faire qu'à titre précaire et pour une durée limitée.

IX. — Limites du domaine public.

Limites transversales. — On vient de voir que le domaine public fluvial se trouve constitué par la concentration entre les mains de l'État de tous les droits auxquels les divers usages de l'eau sur un cours d'eau navigable peuvent donner naissance. On a vu également qu'au moment où un cours d'eau passe dans le domaine public et tant qu'il y reste, il subit, au point de vue du droit, un changement de régime radical : il devient un bien spécial, *sui generis*, soumis à des règles absolument différentes de celles qui régissent les autres biens. Il y a donc un intérêt de premier ordre à déterminer le point où commence ce bien spécial, celui où il finit.

Nous sommes ainsi conduits à rechercher comment cette détermination devra être faite.

On sait déjà d'une manière générale que le point limite où un cours d'eau entre dans le domaine public est celui où ce cours d'eau devient propre à la navigation; qu'il ne s'agit pas seulement d'une navigation nominale, mais du point où la navigation acquiert une prééminence manifeste dans la série des divers usages auxquels peut donner lieu l'eau courante. Il ne suffit pas, en effet, à ce point de vue, que le cours d'eau puisse porter un bateau quelconque, il faut que, par sa capacité, ce bateau soit un instrument utile de transport; il faut que le parcours où il pourra circuler présente une étendue raisonnable; il faut enfin, répétons-le, qu'en raison de la situation du cours d'eau par rapport aux populations qu'il dessert, la navigation soit en mesure de prendre une importance qui justifie la prééminence qui sera reconnue à l'usage de l'eau comme voie navigable.

Toutes ces conditions sont certainement très délicates à apprécier et il est difficile de dégager de l'observation directe un motif de détermination. On a essayé, dans certains pays, de se rattacher, pour la fixation d'une limite, à un fait naturel tel que l'action de la marée, et on a fait remonter le domaine public jusqu'au point où cette action cesse de se faire sentir. Il peut paraître plus rationnel de se guider sur la possibilité pour certains types de bateaux, caractérisés par exemple par leur tirant d'eau, de remonter jusqu'à un point déterminé. Il faut bien en réalité le reconnaître, il n'est généralement pas facile de se baser uniquement sur un fait matériel et la fixation de la limite devra le plus souvent être abandonnée au pouvoir discrétionnaire d'une autorité sociale instituée à cet effet par le législateur. Quelle que soit la difficulté de la solution, cette solution est indispensable, et, dans tout pays policé, la limite du domaine public fluvia devra être fixée d'une manière précise sur chaque cours d'eau navigable,

puisqu'elle correspond à un changement radical dans la nature des droits et dans l'attribution qui en sera faite. Le régime de la domanialité prendra fin, d'autre part, au moment où les eaux d'un fleuve se confondront avec celles de la mer et cesseront de se rattacher au territoire national pour entrer dans une communauté plus vaste, celle de l'humanité tout entière.

En dehors des limites transversales placées aux deux extrémités du domaine public, il peut exister, et chez la plupart des nations il existe généralement, pour les cours d'eau domaniaux, d'autres limites tracées spécialement en vue de régler l'attribution des droits spéciaux, tels que ceux qui se rattachent à l'exercice de la pêche; mais nous ne croyons pas, dans cette revue très générale, devoir nous y arrêter.

Limites longitudinales. — Nous venons de parler des limites transversales des cours d'eau; il est non moins essentiel, chez une nation policée, d'en déterminer des limites longitudinales.

Un cours d'eau se compose de l'eau qui coule, du lit et des berges, lesquelles constituent le point de jonction du cours d'eau avec la portion du territoire susceptible d'appropriation privée. Il est à remarquer d'ailleurs que le lit et les berges participent matériellement aux caractères du territoire solide. Cependant ils font, et ne peuvent pas ne pas faire partie intégrante du cours d'eau, et se trouvent dès lors soustraits à la catégorie des choses qui sont appropriables par des individus ou par des collectivités spéciales.

La détermination du point où le sol sera soustrait au régime de l'appropriation privée, placé sous le régime des biens communs ou incorporé au domaine public, présentera des difficultés analogues à celles que nous avons signalées tout à l'heure à l'occasion de la limite transversale. Si l'eau courante avait toujours un cours bien déterminé, une consistance, une rapidité, un débit constants et invariables, la tâche serait facile. Mais il n'en est pas ainsi; l'eau s'avance et recule sur le sol qu'elle occupe et abandonne successivement. En outre, la portion inappropriable du sol doit comprendre, au moins pour les cours d'eau domaniaux, une bande de terrain indispensable, pour permettre aux ayants droit l'accès du cours d'eau et les mettre à même de recourir aux divers usages de l'eau indispensable également pour servir d'appui aux ouvrages destinés à tirer de l'eau les avantages dont elle est susceptible.

D'un autre côté, il importe à un haut degré que la quantité de terrain soustraite au régime de l'appropriation privée ne dépasse pas ce qui est strictement nécessaire à la constitution essentielle du cours d'eau. Les biens doivent coexister et n'empiéter les uns sur les autres que dans la mesure où cet empiétement est absolument commandé par la nature des choses. Il faut donc encore ici procéder à une délimitation, et cette opération est également du ressort de l'autorité sociale.

En principe, sera incorporée au lit du cours d'eau la portion du sol nécessaire pour contenir ses eaux coulant suivant les habitudes ordinaires de son cours. De plus, pour les fleuves et rivières domaniaux, une bande de terrain suffisante pour assurer un passage longitudinal, sera déclarée incorporée au domaine public ou tout au moins frappée d'une servitude de passage au profit des ayants droit de l'État.

Ici encore, le pouvoir, dont l'autorité sociale constituée à cet effet sera investie par le législateur pour la délimitation, sera forcément discrétionnaire, au moins dans une large mesure, puisque, de même que pour la délimitation transversale, la délimitation longitudinale ne résulte pas exclusivement d'un fait naturel nettement perceptible.

Notons qu'entre la terre, élément solide et fixe, et l'eau, élément liquide et fugitif, entre le domaine soumis à l'appropriation privée et le domaine public, le dernier aura la prééminence et devra forcément servir de point de départ à la délimitation. Quoi qu'il en soit, ici encore, la fixation d'une limite est indispensable puisqu'elle doit régler le régime sous lequel seront placés les différents biens, et qu'il importe au bon ordre social que chaque catégorie de biens offre à ses possesseurs un corps aussi certain que possible sur lequel leur activité puisse légitimement s'exercer.

X. — Résumé et conclusions.

Nous avons passé en revue les principaux éléments qui permettent de déterminer les caractères des eaux courantes et de leur assigner une place dans la classification des biens; nous avons expliqué dans quelles conditions ces biens se présentent à l'observateur comme *objets de droit*; nous avons noté quels sont les droits auxquels ils peuvent, le plus couramment, donner origine; enfin nous avons indiqué quelles sont les catégories de personnes qui, suivant les circonstances, pourront devenir les titulaires des droits. Nous avons ainsi épuisé le cycle des questions que nous nous étions proposé d'envisager en ce qui concerne les eaux courantes. Nous sommes au terme de notre sujet, et il ne nous reste plus qu'à essayer de récapituler les notions essentielles que nous avons essayé de dégager et à mettre plus en relief l'idée ou plutôt la synthèse des idées philosophiques qui nous paraissent commander ce sujet.

Envisagées dans leur masse, les eaux courantes sont le bien commun des populations habitant le territoire sur lequel elles s'écoulent. Personne ne peut s'en réserver l'avantage exclusif.

Elles sont cependant susceptibles de nombreux usages qui s'obtiennent soit par prélèvement direct de fractions plus ou moins considérables de l'eau qui s'écoule et des forces qui y sont attachées, soit au moyen de

travaux d'aménagement destinés à modifier et à régler les conditions générales de l'écoulement.

Au point de vue de la plupart des usages qu'elle comporte, l'eau est une chose fongible; la portion des eaux prélevée sur la masse pour ces usages devient susceptible d'appropriation privative.

Il importe qu'en principe ces prélèvements ne soient jamais tels qu'ils puissent tarir le cours d'eau, ni même en altérer le régime général. Cette condition s'attache plus impérieusement encore aux travaux exécutés en vue de modifier et d'aménager le mode d'écoulement. Le lit et les berges de tout cours d'eau sont soumis aux mêmes restrictions et soustraits comme l'eau courante au régime de l'appropriation privée.

Les cours d'eau ne peuvent être abandonnés à l'action anarchique des populations fixées au territoire qu'ils traversent. Dans toute société organisée les biens sont rattachés à des titulaires reconnus, mais dont le pouvoir d'agir sur ces biens est nécessairement limité. Les restrictions imposées à l'action de ces titulaires sont formulées par la loi positive parlant au nom de l'État, incarnation des intérêts solidaires de l'agrégation nationale.

Le législateur national devra intervenir de même en ce qui concerne les eaux courantes, non seulement pour définir les usages dont elles sont susceptibles, le mode d'action qui pourra être exercé sur elles, mais aussi pour désigner, au moins d'une manière générale, ceux qui auront la faculté de recourir aux divers usages de l'eau, et pour tracer les conditions dans lesquelles ils pourront exercer cette faculté.

L'État reconnaît les droits, les formule, les sanctionne. Il est chargé de les faire respecter. La reconnaissance que la loi positive est amenée à faire des droits de chacun et de tous est nécessairement attributive.

L'attribution du droit à la plupart des usages d'un cours d'eau sera faite, dans l'ordre naturel des choses, à ceux qui sont le mieux placés pour en tirer les avantages qu'il comporte, à ceux qui en ont l'accès, c'est-à-dire aux possesseurs des terres riveraines. L'attribution sera néanmoins entourée de restrictions d'autant plus étroites que les usages de l'eau seront plus nombreux et plus complexes et que des facultés analogues seront reconnues à un nombre plus considérable d'intéressés investis des mêmes droits. L'étendue de l'action des titulaires se trouve subordonnée à cette obligation de droit commun de ne porter aucun préjudice aux tiers intéressés.

La conciliation sera maintenue entre les divers intérêts par un pouvoir réglementaire institué par le législateur et agissant, suivant les circonstances, par mesures préventives ou répressives. Le pouvoir réglementaire est conféré, dans le premier cas, à l'autorité administrative, dans le second à l'autorité judiciaire.

Certaines qualités utiles de l'eau courante ne se prêtent pas à une attribution générale de droits. Notons la qualité que présente un cours d'eau de servir de *fonds* à la production d'un fruit spécial, *le poisson*. Il

y a un sérieux intérêt à ce que le droit de pêche soit réservé et soit, de la part de la loi positive, l'objet d'une attribution spéciale.

L'eau courante peut, en outre, comporter certains usages qui intéressent d'une façon plus générale la communauté ou une partie de la communauté des habitants. L'accroissement de la population, le développement des cultures, les progrès réalisés dans les procédés d'utilisation des eaux, peuvent devenir l'origine de nouveaux usages à l'égard de l'eau courante, et sans parler du pouvoir d'expropriation pour cause d'utilité publique que possède toujours l'État au nom de la société, l'attribution des droits consentie aux riverains comporte de ce fait une réserve générale.

Quand la masse des eaux d'un cours d'eau s'accroît, son action s'étend sur une plus grande partie de territoire et agit plus profondément sur les populations. Il arrive un moment, notamment lorsque le cours d'eau devient l'objet d'une navigation active, où les qualités utiles qu'il renferme deviennent si nombreuses et si importantes, où elles s'enchevêtrent de telle sorte, que la conciliation des intérêts ne saurait plus être obtenue par de simples restrictions apportées aux droits des usagers. L'exécution des travaux à effectuer pour dégager les qualités utiles appelle l'action d'une seule volonté directrice. Le caractère de communauté de l'eau courante acquiert une prééminence manifeste, il ne permet plus le morcellement des droits d'usage entre des titulaires multiples et le bien commun doit être réglé et administré par un titulaire unique.

L'eau courante prend alors une nouvelle place dans la classification des biens. Un nom spécial est donné à ce bien, *le domaine public*, dont le titulaire est l'État.

L'État, agissant en vertu de sa souveraineté, administrera ce bien dans l'intérêt de tous, et personne ne pourra plus puiser dans l'eau courante, recourir aux usages qu'elle comporte, qu'en vertu de la permission et de la tolérance du titulaire.

L'État exercera, suivant la nature des qualités utiles, un triple ordre de fonctions : fonctions d'administrateur, fonctions de police, fonctions de propriétaire.

Il les exercera ou directement au moyen de son organisme emprunté au milieu dont il incarne les intérêts solidaires, l'organisme gouvernemental, ou au moyen de délégués.

Dans le second cas, le délégué, le concessionnaire, investi de l'exercice d'une partie des droits de la souveraineté, ne pourra évidemment jouir de facultés différentes et plus étendues que celles qu'il tient du titulaire.

L'État ne pourra jamais, au surplus, tout en déléguant une partie de sa faculté d'action, se dépouiller de droits qui par essence même ne sont pas transmissibles, et sa délégation sera nécessairement temporaire et précaire.

Il importe enfin que des limites précises soient tracées entre les différentes catégories d'eaux suivant le régime auquel elles sont soumises. Il importe également que des limites soient fixées entre les portions du territoire

occupées par les eaux courantes, soustraites au régime de l'appréciation privée, et celles qui restent soumises aux conditions générales de l'appropriation.

La détermination de ces limites doit, autant que possible, être empruntée à la manifestation de phénomènes naturels dont l'appréciation sera généralement confiée à l'autorité sociale, c'est-à-dire au Gouvernement. A défaut de phénomènes naturels nettement perceptibles, l'autorité sociale devra néanmoins pourvoir à la délimitation et se trouvera, dans une certaine mesure, investie pour le faire d'un pouvoir discrétionnaire.

Notons, avant de terminer, qu'une idée générale doit prédominer dans la conception de toute législation sur le régime des eaux intérieures d'un pays, comme au surplus dans toute autre branche de législation, et c'est par l'expression de cette idée que je désire clore cette longue dissertation.

Il est d'un intérêt majeur, pour une société organisée, que toutes les forces de la nature, toutes les qualités utiles des matières dépendant de son territoire, puissent être mises en valeur, et, pour cela, il est indispensable que la faculté de les mettre en valeur ne reste pas en suspens et soit l'objet d'une attribution de droits. C'est alors seulement que matières et forces sont susceptibles du maximum de rendement, du maximum d'effet utile.

Les sociétés humaines, dans l'ordre naturel des choses, sont organisées de telle sorte que la plupart des services humains se rendent par la voie de l'échange. La spécialisation des facultés, la division du travail sont une des conditions essentielles du bon ordre économique et, tant que la concurrence peut s'exercer efficacement, il n'y a pas de danger que l'attribution de droits au profit d'individus agissant seuls ou collectivement n'aboutisse à des abus. Une attribution individuelle ou collective doit donc intervenir pour les matériaux et les forces, autant que leur nature, le caractère des qualités utiles qui y sont attachées, le permettent.

La tâche du législateur est éminemment délicate; il doit s'inspirer sans cesse des lois supérieures de la nature, du monde social, comme du monde matériel. Il doit connaître ces lois et, pour cela, les rechercher, les étudier d'une manière persévérante, de façon à ne se mettre jamais en opposition avec elles; car, s'il les a méconnues, il entraîne pour le milieu général, pour le milieu social, une perturbation profonde. La loi humaine agit comme un frein, à l'égard de l'action déréglée des individus, mais si ce frein se fait sentir inopportunément, il entrave, il enraye le mouvement des sociétés, il stérilise, il annihile les efforts individuels et collectifs. Aussi, quand l'attribution des droits n'est pas rationnellement faite, il se produit une énorme déperdition de forces, et l'influence du législateur, l'action nécessaire de l'État devient elle-même perturbatrice; elle est assimilable à un fléau.

Il n'existe pas de législation plus difficile à bien établir que celle des

eaux, et la meilleure sera celle qui, tout en réglant l'attribution rationnelle des droits, entravera le moins possible l'initiative des titulaires de ces droits, laissant le plus à faire à la jurisprudence, sous la sauvegarde du principe de droit commun, que chacun a le droit de s'opposer à toute action qui lui porte préjudice, et de demander réparation du préjudice qui lui a été causé.

Une législation sur les eaux, conçue dans cet esprit, sera la plus fidèle à la doctrine libérale, à celle qui a pour objectif fondamental de se conformer toujours aux lois de la nature sans essayer de les violenter, qui se repose sur les ressorts que la Providence a placés dans tous les êtres de ce monde pour assurer l'éternelle évolution de l'Univers et de l'humanité.

DE

L'UTILISATION DES EAUX EN CHINE

CONFÉRENCE

Faite le 26 juillet 1889

PAR

M. le Général TCHENG-KI-TONG
Attaché militaire à la Légation impériale de Chine à Paris.

DE

L'UTILISATION DES EAUX EN CHINE

CONFÉRENCE

Faite le 26 juillet 1889

PAR

M. le Général TCHENG-KI-TONG

Attaché militaire à la Légation impériale de Chine à Paris.

Messieurs,

Si j'étais un homme modeste, je reculerais épouvanté, devant le titre de cette réunion du Congrès international de l'utilisation des eaux.

La tâche, en effet est des plus considérables. L'eau, si je ne me trompe, figure pour les deux tiers dans la surface du globe. Les terres n'occupent donc qu'un tiers de notre planète, devenue déjà trop petite pour nos populations toujours croissantes.

Utiliser les eaux, c'est-à-dire les deux tiers uniquement peuplés, jusqu'à présent, de citoyens aquatiques, quel rêve pour la pauvre humanité!

Asservir à notre volonté ces ondes fugitives, dont on ne sait que faire, voilà en effet le projet le plus grandiose qui se soit jamais présenté à l'espri des ingénieurs même les plus audacieux.

Je sais bien que rien ne doit se perdre dans ce monde, et nous avons, nous, dans notre agriculture, pour premier principe de rendre à la terre ce que nous a fourni la terre.

Mais prendre à la mer ce que nous devrait donner la mer, voilà un problème qui paraîtrait bien plus difficile, si nos anciens, à force de patience, ne l'avaient résolu déjà, en partie, et si vos modernes n'avaient fait appel à toutes les ressources de la science, pour réaliser ce qui restait à faire.

Je vous parlerai tout à l'heure de ce qui a été accompli dans mon pays, où, depuis quatre mille ans, on a toujours cherché à utiliser les eaux et à en tirer le meilleur parti possible. C'est grâce à cette utilisation que nous avons toujours pu nous suffire et que, malgré la multiplication extraor-

dinaire de nos enfants, nos champs ont fourni amplement de quoi les nourrir.

Un de nos proverbes dit : « Ayez toujours des enfants; la Providence qui leur fit voir le jour, ne les laissera pas mourir de faim. » En effet, vous n'avez jamais vu mourir de faim un insecte créé, comme nous, par la nature ; pourquoi donc les hommes devraient-ils être frappés plus sévèrement que ces infiniment petits?

Donc, chacun, en somme, devrait trouver la nourriture sur le sol qu'il habite; car je pense que le Créateur, ayant plus d'ordre qu'un directeur de théâtre, ne donne jamais plus de billets qu'il n'y a de places. Mais c'est à nous de tirer profit des circonstances; si la terre trop petite ne nous suffit pas, les eaux, intelligemment assouplies à notre usage, fourniront un supplément à notre consommation.

Vous aussi, vous avez déjà fait beaucoup en ce sens : vous employez l'eau en chutes, pour remplacer les machines à vapeur; en rivulets, pour arroser vos champs; lorsque ses flots vous paraissent dangereux à franchir, vous construisez des ponts d'une longueur inouïe et d'une hauteur gigantesque, pour passer dessus; des tunnels d'une architecture audacieuse pour passer dessous. Vous utilisez l'eau partout où elle vous paraît utilisable. Cependant votre aménagement présente peut-être quelques lacunes.

A mon humble avis, l'eau est faite pour être partout utilisée, et, en dépit du progrès des sciences, je trouve qu'en Occident on ne se conforme pas toujours à cette règle. Par exemple, à Paris, malgré canalisations et machines élévatrices, l'eau de source manque quelquefois. Alors, naturellement, on nous fait boire de l'eau de Seine : aussitôt, pétitions et protestations contre ce breuvage peu potable. Voilà des croisades que nous autres Chinois ne comprenons pas du tout. Cette eau n'est-elle donc pas faite, comme toutes les autres, pour être bue? L'eau de la Seine est-elle moins saine que celle des autres fleuves? Je ne crois pas. Car chez nous, où l'on ne fait pas usage des sources minérales, on est obligé de se contenter de la même eau qui arrose la ville. Et pourtant, le chiffre de mes concitoyens ne diminue pas, pour cela, par les maladies. Nous avons remédié au mal par un moyen bien simple; nous nous plions aux circonstances : nous faisons toujours bouillir l'eau avant de la boire, l'usage nous ayant appris que crue, elle était malsaine. C'est dire que nous appliquions la méthode antimicrobienne avant la constatation officielle de l'existence des microbes. Nous avons donc su utiliser parfaitement pour en faire notre boisson ordinaire, le thé, l'eau des fleuves qui, du reste, soit dit en passant, ne coûte absolument rien aux habitants du Céleste Empire.

Jusqu'à présent je n'ai parlé que de l'eau en général. Mais, au point de vue de sa grande utilité, du rôle spécial qu'elle joue dans l'agriculture, nous avons fait des efforts énormes, depuis l'antiquité la plus reculée. Je vais vous montrer, documents en main, comment nos ancêtres, il y a

quarante siècles, après avoir été éprouvés par notre grand déluge à nous, savaient déjà se soumettre les eaux. Vous verrez alors que, malgré les multiples inventions modernes qui facilitent le travail et la main-d'œuvre, nous avons résolu le problème le plus difficile, et rien ne peut encore, jusqu'à ce jour, surpasser ce qui a été créé chez nous par des moyens très primitifs : c'est grâce à notre système d'arrosage que nos champs nous donnent trois récoltes par an, sans demander jamais un repos dans l'intervalle. Notre terre, largement arrosée, est comme une paysanne, ignorante des raffinements et des fatigues de la femme du monde et qui ne se lasse jamais de produire, suivant l'ordonnance de la nature, et de se préparer à mettre au monde un nouvel enfant, dès que le dernier vient de naître au jour.

Si je vous donne ces quelques comparaisons un peu vagues, je pense qu'elles ont aussi leur utilité : cela, surtout au point de vue des idées chinoises. Nous croyons, en effet, que le ciel est masculin et la terre féminine; que l'un agit et l'autre produit; que toute fécondité est le résultat de l'union intime de ces deux éléments constitutifs de notre univers. C'est cette idée fondamentale de notre philosophie agricole et hydraulique que je tenais à vous faire connaître d'abord. Et elle se résume en cette simple phrase : savoir utiliser les eaux.

On sait que la canalisation date, en Chine, de l'époque fabuleuse. Opérée avant la création des lettres et de la littérature, nous ne savons plus quelle méthode on y employa. En 2300 ans avant l'ère chrétienne, disent nos récits, sous le règne de l'empereur Yao, la Chine fut envahie par un grand déluge, qui s'étendit sur tout le territoire de l'Empire. Je ne sais pas si c'est le même que le vôtre : je laisse aux spécialistes le soin de discuter cette question très controversée. Dans tous les cas, il ne fut pas moins terrible, puisqu'il dura pendant neuf ans, durant lesquels l'Empire Céleste devint un empire sous-marin. Les quelques rares Chinois qui purent survivre à ce fléau, vécurent dans le voisinage des poissons et des tortues.

Ce désastre ne fut enrayé que grâce à l'empereur Yu, notre Noé à nous. Il employa sept ans à subdiviser la Chine en neuf régions, séparées les unes des autres par des cours d'eau artificiels, devenus frontières naturelles. Après l'abaissement des eaux, il fit examiner la qualité des terres de chacune des provinces et les produits qu'elles fournissaient. Il décréta également, pour unité de mesure agraire, le *méou*, surface d'environ 669 mètres carrés, ou carré de près de 26 mètres de côté, et d'après la fertilité des champs et leur situation topographique, fixa neuf classes d'impôts, mentionnés encore dans le Chou-King, au chapitre de Yu-Kung (impôts de Yu).

Cet état de choses se prolongea plus de douze siècles.

En 1100 av. J.-C., le premier ministre de l'empereur Wou-wang, Tchéou-

Kung (duc de Tchéou) fit fabriquer des norias, machines hydrauliques dont le jeu est aussi simple que la composition, pour élever l'eau à une hauteur où elle ne pouvait monter auparavant; il établit des réservoirs et des canaux d'irrigation : ceux-ci envoyaient l'eau des sources, au moyen de machines, jusque sur les sommets arides des montagnes; ceux-là assuraient au pays sa provision d'eau pour les cas de sécheresse. L'état de l'agriculture était, par suite, tout à fait florissant. Tchéou-Kung, après avoir accompli cette œuvre vraiment grandiose, songea à augmenter encore par d'autres mesures et le bien-être du peuple et les revenus de l'État. Il fit alors promulguer des lois sur les délimitations des propriétés et organisa la répression des usurpations. La forme des champs fut tracée en carrés, que nous appelons *puits*, parce que le quadrillé ressemble à celle de nos lettres désignant le puits. Neuf cents méous formaient une unité de surface, le puits, entouré et sillonné de rigoles et valant un peu plus de 60 hectares. Les huit terrains extérieurs appartenaient à huit agriculteurs, qui devaient cultiver ensemble le neuvième carré intérieur, pour l'État, à titre d'impôt.

Ce système réussit à merveille : chaque cultivateur était propriétaire de cent méous, soit 6 hectares et demi, dont le produit lui revenait en entier, et l'État était en réalité propriétaire du tout, puisqu'il recevait un impôt général du neuvième. J'ajoute qu'avec cent méous, si le terrain est fertile, un cultivateur peut nourrir une famille de huit personnes : sinon, cinq personnes, au moins.

En dehors de ce champ, chaque cultivateur reçut encore cinq méous de terre, soit 3350 mètres carrés, dont la moitié destinée à sa basse-cour et la moitié aux mûriers. Grâce à cette méthode de distribution des propriétés aux habitants, chacun avait toujours un surplus de provisions : riz, viande de porc, volaille, pour se nourrir, et soie pour s'habiller. Nul, à cette époque, n'était plus riche ni plus pauvre qu'un autre : c'était un socialisme égalitaire complet; et personne ne se plaignait de cette médiocrité dorée, puisque l'aisance de l'un ne s'était pas faite aux dépens de la richesse de l'autre.

Cette époque est la plus grande de notre histoire : jamais le peuple n'avait été aussi heureux; jamais la méthode ne fut aussi bien appliquée. Le livre *des Rites* de la dynastie de Tchéou, que nos contemporains vénèrent toujours, et que les personnes qui s'occupent d'agriculture et de la question des eaux s'empressent de consulter, pour y prendre modèle, contient tous les documents dont nous nous sommes servi pour esquisser le tableau qui précède.

Malheureusement, la décadence de la dynastie Tchéou survint en l'an 600 avant J.-C. Les princes féodaux avaient habilement profité de leur pouvoir pour ruiner les populations par leurs exigences incessantes, allant jusqu'à couper es blés ou la récolte de riz, prenant ce qui leur plaisait; le régime territorial de Tchéou-Kung fut, par suite, complètement détruit.

Deux cents ans après, le prince Houan-Kung, du royaume de Tchi, se proclamait chef des féodaux, pour les écraser de sa suprématie : se rendant aux avis de son ministre Kouang-Tchung, il revint à la méthode qui avait si bien réussi sous Tchéou-Kung, tout en la modifiant à sa manière. Il nomma, à cet effet, un ministre des eaux, un sous-secrétaire d'État, deux adjoints, deux inspecteurs des eaux, qui parcouraient tout le pays et faisaient exécuter des travaux nécessaires pour prévenir les deux grands fléaux : la sécheresse et l'inondation. Ces mesures énergiques firent du royaume de Tchi le plus riche de l'époque. Mais le système de Tchéou avait subi une profonde transformation, qui allait s'accentuer encore.

Lorsque l'empereur Tsing-Sse-Houang, en 250 avant J.-C., rendit l'unité à l'empire chinois, en détruisant tous les chefs féodaux, il suivit le conseil de Siang-Kio, son ministre d'État, et laissa les champs complètement libres au peuple : l'ancienne prestation en nature du neuvième, attribué à l'État, fut remplacée par un impôt.

Ce souverain, avant de devenir le maître unique de la Chine, fit percer un canal pour amener l'eau du fleuve King, de la montagne de Tsoung, (ou du milieu), jusqu'à la montagne de Pé (ou du Nord); plus de 400 000 hectares de terre, jusqu'alors stériles, devinrent très fertiles, une fois arrosés par ce canal dit canal de Tcheng-Ko, du nom de son inventeur. C'est grâce aux richesses qu'il put dès lors tirer de ses sujets, que son royaume se vit changé en empire.

Malheureusement, cette fortune le rendit aveugle. Croyant que plus l'empire posséderait de champs, plus le gouvernement serait riche, l'empereur décréta de transformer toute la terre de Chine en cultures, en négligeant la source même des richesses agricoles, l'utilisation des eaux. Non seulement il n'augmenta pas le nombre des canaux, mais les anciennes rivières artificielles étaient négligées, se bouchaient, et bientôt, les nouvaux champs ne furent pas mieux alimentés que les anciens. Quelques années plus tard, la négligence apportée à la canalisation eut pour résultats l'inondation et la sécheresse.

Le peuple qui jouissait jusqu'alors d'une fortune presque toujours égale, éprouva tout à coup des revers terribles; inutile de vous détailler ici toutes les conséquences physiques et politiques du nouvel état des choses, il me suffit de citer ce passage de notre histoire : « Tchéou, qui fonda la méthode des champs de *puits*, vit sa dynastie durer huit cents ans; le peuple était heureux et les propriétés florissantes, Tsing agit dans un sens tout contraire : il négligea les canaux; aussi sa famille ne régna-t-elle que pendant deux générations, parce que beaucoup de gens de son peuple étaient ruinés, et que leur cœur se détacha de lui. »

Voilà, messieurs, l'utilisation des eaux devenue le grand facteur de la politique ; vous ne vous en étonnerez pas, en vous rappelant que les Chinois sont, avant tout, une nation essentiellement agricole.

En 202 avant J.-C., l'empereur Kao-Tsou sortit des rangs les plus infimes du peuple pour former la dynastie des Han. Voyant le système territorial de Tchéou-Kung si bien délaissé qu'il ne pouvait songer à y revenir, il se contenta de continuer le système des Tsing, en diminuant les impôts. Ce *modus vivendi* put être maintenu pendant trois siècles et demi. Il l'eût été plus longtemps peut-être, si un débordement du fleuve Jaune n'avait eu lieu dans le district de Soan-Tsao, en 160 après J.-C., sous le règne de Weng-Ti. Ce désastre gigantesque était le seul de ce genre que l'histoire relatât, depuis l'époque de Yu, depuis deux mille ans. Pour parer au mal, le conseil des ministres décida de faire construire des digues par les soldats. Mais, vingt ans plus tard, le fleuve déborda de nouveau à un autre endroit. A mesure qu'on bouchait les brèches par des digues, des débordements successifs eurent lieu. Enfin, vingt ans plus tard encore, le fleuve Jaune changea de cours, déplaça son lit, par suite de la canalisation insuffisante, et se fraya une voie vers la région méridionale de la Chine; alors les terres septentrionales furent à jamais ruinées, notamment les provinces Ho-Nan et Hou-Pé, les plus éprouvées.

Devant ces malheurs accumulés, qui menaçaient l'existence même de l'empire, les ministres des finances et d'État décidèrent, de concert, de boucher toutes les brèches faites aux digues et de nommer, à cet effet, un ministre des travaux hydrauliques, chargé spécialement de cette entreprise, et des fonctionnaires subalternes, dispersés dans toutes les provinces fluviales.

Le nouveau ministère s'occupa activement de sa mission. Il prit les mesures les plus énergiques pour empêcher le retour des inondations provenant de la crue rapide des fleuves; en même temps il chercha à introduire les eaux, par de petits canaux, dans les champs. D'abord on commença par les canaux d'irrigation des eaux de l'Ouei, dont les travaux durèrent trois ans. Ce canal avait une longueur de plus de 300 *lis* (172 kilomètres); les terres riveraines profitèrent immédiatement de la construction. Un préfet de Chang-tung, imitant l'exemple donné par ses collègues, fit amener les eaux du fleuve Feng dans sa province, qui, à elle seule, fournit, depuis, une plus-value d'impôts de plus de deux millions de péculs (120 millions de kilogrammes).

Enfin, dans les contrées où la terre, dépourvue de rivières, ne permettait pas de construire des canaux, on creusa des puits : ce fut, en un mot, l'époque la plus active, au point de vue des travaux hydrauliques, et jamais l'utilisation des eaux ne fut mieux pratiquée.

D'ailleurs les récompenses décernées aux uns suffisaient à encourager les autres, qui cherchaient, chacun dans son ressort, à améliorer le sort de leurs subordonnés et à rendre leurs terres plus fécondes. Ce n'était pas la méthode des Tchéou, la distribution des terres offrait plus d'inégalité; mais le régime des eaux avait reçu de tels perfectionnements que notre agriculture en reçut une impulsion décisive; aujourd'hui encore, la Chine

doit être reconnaissante aux auteurs de cette transformation, qui a rendu et rend toujours à nos paysans les plus grands services.

Les terres qui ont le plus profité de ces réformes sont incontestablement celles de la région de Eul-Kouan, entourée de six cours d'eau appelés Liou-Fou. Leur étendue fut augmentée encore par un ministre du royaume de Tchao, qui, prenant l'eau du fleuve King à son embouchure, l'amena à Li-yang, pour déverser finalement ses flots dans le fleuve Ouei. Ce nouveau canal a une longueur de 200 *lis*, soit 116 kilomètres, et arrose plus de 4500 *kings*, ou environ 30 000 hectares de terrains rendus très fertiles. Le peuple de ce pays, devenu agricole montra sa reconnaissance du bienfait reçu, par une chanson qui, répétée encore aujourd'hui de bouche en bouche, célèbre les créateurs de la canalisation. Cette chanson est ainsi conçue :

Où était le champ autrefois,
Qui est aujourd'hui si fertile?
C'est grâce au royaume Tcheng, d'abord,
Et au canal Pé, ensuite,
Qu'on y voit aujourd'hui une nuée de charrues
Et que le canal remplace la pluie bienfaisante.
Une cruche d'eau rend fertiles plusieurs carrés de terre.
A mesure qu'elle arrose, nos moissons poussent.
On ne se figure pas combien de milliers d'habitants,
Grâce à cet arrosage, n'ont plus de soucis pour leur habillement, ni leur nourriture.

Quarante ans avant J.-C., le préfet de Nau-Yaug construisit dans le district de Siaug un vaste bassin entouré d'une digue en pierre, qui donna à l'Empire du Milieu une augmentation de 20 000 *kings* de champs, soit 134 000 hectares.

250 ans après, l'empereur Ming-Ti, de la dynastie Tching, perça, sur le conseil de Teng-Ngaï, un canal qui fait communiquer le fleuve Houei au fleuve Yug : le parcours de ce canal est de 300 *lis* ou 173 kilomètres. Il ajouta 20 000 *kings* (138 000 hectares) à la culture. La nourriture fut dès lors plus que suffisante en Chine. C'est sur ce canal, devenu voie stratégique et route commerciale, que l'empereur transporta les armes et les provisions jusqu'au royaume d'Ou, dont il fit la conquête. Le transport des riz par les canaux date de cette époque.

Au sixième siècle, les Thangs cherchèrent à développer la canalisation : mais ces efforts ne furent pas aussi remarquables que ceux de leurs prédécesseurs, parce que les travaux les plus importants avaient déjà été exécutés. Un fait seulement, mérite d'être signalé : c'est le creusement d'un lac, par le célèbre poète Pé-Ku-I, qui en 624 était préfet de Han-Tchéou.

Ce lac, appelé Si-Hou, ou lac occidental, se fournissait des eaux du fleuve Tsien-Tang ; il a une circonférence de 30 *lis* ou 17 kil. 280, et arrose un

espace de 6000 *kings* (40 000 hectares). Le quai était fait d'une composition solide, mais qui laissait filtrer l'eau de façon à la faire descendre lentement sur les terres situées au-dessous du niveau du lac. La rive, plantée de pêchers et de saules pleureurs, devint la promenade favorite des lettrés et des poètes. Ce lac fut traversé par six ponts sous lesquels flottent les fleurs de lotus. C'était la première belle promenade au bord de l'eau qui existât en Chine.

Le même lac fut agrandi, sous la dynastie des Sung, par le poète Sou-Tong-Pao, au moyen d'une ceinture d'eau qu'il appela « lac extérieur ». De nouveaux quais furent construits et tous les voyageurs qui s'y promènent encore aujourd'hui ont pu admirer l'œuvre charmante autant qu'utile des deux grands poètes qui eurent le rare privilège d'être, en même temps, de grands ingénieurs.

Au neuvième siècle, la dynastie des Sung, désirant étendre la canalisation d'une manière très large, créa un département nouveau, à la tête duquel fut placé un ministre, avec le titre de « Gouverneur des eaux ». De plus, un surintendant des transports de riz fut nommé, pour administrer les provinces septentrionales du fleuve Jaune : il avait comme attributions le sondage du fleuve et l'étude des besoins d'aliments des provinces de l'Empire. Le soin de classer les terrains productifs selon leur valeur et leur position lui incombait également. Enfin, la culture du mûrier entrait aussi dans sa compétence. Ce fut la seconde période de notre prospérité agricole due à la canalisation.

Au dixième siècle, ce système reçut encore un perfectionnement. Le premier ministre Fan-Tchung-Yen inventa les digues-écluses, qu'on devait fermer au moment des crues, et qu'on ouvrait en temps de sécheresse.

En même temps, son contemporain Tsaé-Siang fit percer à Fou-Tchéou, autour du lac Si-Hou, 69 canaux d'irrigation, qui arrosent, dans cette province, plus de 25 000 *kings* de terrains (167 250 hectares).

En 1160, eut lieu un débordement de l'eau du Tai-Hou, dans la province de Sou-Tchéou. Le censeur Li-Kié proposa au trône trois projets : 1° faire des écluses et des quais; 2° créer des concours entre fonctionnaires et gens du peuple pour les travaux hydrauliques; 3° profiter de la baisse des eaux, en automne et en hiver, où le peuple n'est pas occupé aux champs, pour l'employer à exécuter ces travaux.

Ces propositions furent acceptées et les travaux, achevés au bout de quelques mois, donnèrent des résultats remarquables.

En 1360, le premier empereur de la dynastie des Ming, immédiatement après son avènement, rendit un décret pour restaurer et rouvrir les canaux bouchés, afin de montrer que son premier acte était de penser à la nourriture et aux vêtements des habitants.

Il savait que les plus grandes ressources de l'Empire provenaient de l'agriculture et que le plus sûr moyen de pacification était de donner du

travail au peuple. Il envoya, à cet effet et dans cet ordre d'idées, les membres de l'académie dans toutes les provinces pour conférer avec les autorités, expliquer au peuple le but de leur mission et appliquer le décret impérial.

Un peu plus tard, sous le règne de Yung-Lô, le lac Tai-Hou déborda de nouveau. Le Ministre des finances Hia-Yong-Ki fut chargé de parer aux difficultés. Cent mille employés travaillèrent jour et nuit : Yong-Ki s'habillait comme eux et allait, tous les jours, à pied, inspecter les travaux, sans repos, ni trêve, sous le soleil, même le plus ardent. Répondant à quelqu'un qui lui conseillait de se reposer un peu, il disait qu'il ne pouvait pas se livrer à l'oisiveté pendant que les autres se fatiguaient. Grâce à cet exemple donné d'en haut, on travailla avec activité et le désastre fut à jamais banni. Vous comprendrez aisément combien les agriculteurs et le peuple de cette région ont de vénération pour ce célèbre Ministre des finances.

Sous l'empereur Tcheng-Hoa, le gouverneur Han-Tsoung restaura les canaux de Tcheng et de Lung-Siou dont j'ai parlé plus haut; au moyen du feu, il détruisait les rochers, réduits en poussière par la chaleur d'immenses brasiers; ceux qui étaient trop grands, il les perça de tunnels ; ces œuvres existent encore aujourd'hui : nous les appelons « le canal des bienfaits multiples », car il arrose plus de 70 000 *kings* de terrains, 468 300 hectares.

La dynastie actuelle, outre les travaux importants et successifs qu'elle ne cesse pas de faire pour l'entretien et la protection des eaux, a fait publier, sous l'empereur Kien-Lung en 1737, une grande encyclopédie d'agriculture et d'horticulture, composée de 78 livres.

La rédaction avait été confiée par le souverain aux agriculteurs et aux lettrés, qui prirent soin d'annoncer dans leur introduction qu'ils n'avaient pas l'intention d'émettre des idées nouvelles, mais seulement de recueillir dans tous les ouvrages antérieurs, afin de former un vaste recueil, les observations et les méthodes les plus remarquables, dues aux savants de tous les temps et de toutes les provinces.

Cet ouvrage, intitulé *Chéou-chî-tong-Kao*, nous fournit de précieux renseignements relatifs à l'utilisation des eaux.

Il serait trop long de vous détailler le contenu de cette œuvre si vaste. Si vous me le permettez, je vais rapidement vous retracer un sommaire de la question qui nous y intéresse :

Livre XV. — Avantages qu'on retire de l'eau. — Irrigations I.

Classification des cours d'eau en fleuves, rivières, ruisseaux, etc., d'après leur importance; le parti qu'on doit tirer de chacun d'eux suivant leur profondeur, leur largeur, etc.

Manière d'utiliser, pour l'irrigation, les eaux des lacs, des étangs, des pièces d'eaux, ainsi que les eaux pluviales.

Histoire des divers systèmes d'irrigation suivis en Chine à différentes époques ; motifs qui ont fait prévaloir ceux que l'on adopte aujourd'hui.

Instructions pratiques sur l'art des irrigations.

Dimensions des canaux, suivant la classe à laquelle ils appartiennent; leur profondeur, leur largeur, les distances qui doivent les séparer les uns des autres.

Livre XVI. — Irrigations II.

Recherches sur l'histoire des digues organisées en grand.

Législation qui les régit.

Système des digues adoptées pour les différents fleuves de l'empire; description de ces systèmes, qui varient de province à province, en raison du climat, de la nature du sol ou des ressources particulières à chacune de ces provinces, ce qui amène l'auteur à examiner en détail les qualités chimiques inhérentes aux eaux des principales rivières et des lacs en Chine, au point de vue de l'agriculture.

Livre XVII. — Irrigations III.

Continuation du même sujet. Ce livre est le complément du précédent.

Livre XVIII. — Irrigations IV.

Ce livre traite de la manière de creuser les puits, de former des bassins, des réservoirs, des canaux d'irrigation, d'élever les digues et barrages pour déverser l'eau des rivières sur les terres cultivées.

Matériaux qui doivent être employés à ces diverses constructions.

Précautions à prendre en exécutant ces divers travaux, etc., etc.

Règlements concernant la prise de l'eau dans les rivières et la distribution aux cultivateurs, suivant que les eaux sont basses ou abondantes.

Manière d'utiliser l'eau de la mer en agriculture.

Livre XXXVIII. — Méthodes pour élever l'eau, d'origine européenne.

Ce livre est consacré à la description des pompes et autres appareils pneumatiques d'invention européenne introduits en Chine. Chacune de ces machines est modifiée et simplifiée par le génie chinois.

Ces livres vous font voir combien les Chinois étaient avancés dès la plus haute antiquité dans cette branche importante de l'agriculture.

Voilà, à peu près, ce que j'ai à dire de l'histoire de la canalisation de la Chine.

Mon pays est essentiellement agricole, et pour que l'agriculture pût prospérer, nous nous sommes appliqués, comme vous avez pu voir, à donner à boire à la terre.

L'empereur Yu, après nous avoir mis à l'abri du déluge, songea à créer les cours d'eau coulant à travers la terre ferme, comme le Créateur nous a pourvus de veines faisant circuler le sang de notre corps.

Confucius, en parlant de Yu, disait que tous ses efforts se résumaient dans la création des canaux : en effet, c'était là la force motrice de l'empire du Milieu, en même temps qu'un moyen efficace de diminuer l'action destructrice des torrents et d'éviter les inondations.

Ce temps prospère est resté le modèle et l'idéal de la Chine. Du reste, les successeurs de ce monarque, toutes les fois qu'ils voulurent dévier du chemin qu'il leur avait tracé, virent tour à tour leurs dynasties s'éteindre, à la suite des désastres causés par leur négligence. Vous avez pu constater comment ont fini les Tsing et combien le lac Tai-Hou a fait de victimes, sous les Sung, par ses débordements. Mais à côté de ces torts des gouvernements passés, le peuple, aussi, a souvent sa part de responsabilité : l'homme est toujours ambitieux. Il demande souvent la quantité et tue la poule aux œufs d'or; ainsi nos paysans sèment des plantes aquatiques au bord de l'eau, pour affermir le sol marécageux et créer des terrains nouveaux. Le champ s'agrandit aux dépens du canal et le cultivateur ne se préoccupe point du rétrécissement de l'artère liquide. Alors, un jour, l'eau, n'ayant plus un passage suffisant, déborde. Nos efforts consistent maintenant à rendre ces événements impossibles, à éviter l'envahissement des canaux par usurpation des terres sur l'eau.

Le rôle protecteur du gouvernement n'a donc pas pris fin, et il n'est pas désirable qu'il prenne fin. Il faut toujours que l'organe de l'intérêt général s'oppose aux empiétements des intérêts particuliers.

Mais si notre agriculteur a le petit défaut que je viens de signaler, il se distingue, en revanche, par de nombreuses qualités. Il a su ramifier à l'infini les rivières artificielles créées par la sagesse de nos empereurs et de leurs ministres; riche de nombreux enfants, il s'est servi de leurs mains pour subdiviser les canaux et les saigner par des milliers de filets d'irrigation; grâce à la présence constante du précieux liquide, il a réalisé des prodiges de culture. L'eau lui a permis d'utiliser l'engrais naturel dilué au quinzième suivant les préceptes de nos sages, qui rend au sol ce que l'homme lui a enlevé; l'eau, toujours en abondance, lui a fourni le moyen d'appliquer à la culture du blé les procédés de repiquage, qui nous assurent des rendements supérieurs; l'eau a rendu possible la constitution de la petite propriété, ce morcellement extrême des terres, qui procure à la moindre parcelle du sol une culture intensive.

Sans doute, ce n'est pas à l'eau seule que nous sommes redevables de l'état florissant de notre agriculture; la patience de notre paysan, l'organisation savante de nos banques mutuelles, notre habitude invétérée de placer notre argent dans la terre, sont des facteurs considérables de notre prospérité agricole.

Mais tous ces efforts particuliers n'auraient produit que peu de chose, s'ils n'avaient trouvé dans les vastes entreprises de canalisation menées à bonne fin par l'État, un tout-puissant auxiliaire.

J'ajouterai que sans ces travaux gigantesques, jamais le Chinois n'eût porté à un si haut point de perfection une industrie importante entre toutes; je veux parler de la pisciculture. C'est grâce à l'abondance de l'eau que mes compatriotes, au lieu de se contenter de couvrir de leurs bateaux de pêche les côtes de la mer, les bords de nos fleuves, nos lacs et nos rivières, ont pu se livrer presque tous à l'élevage du poisson. Le frai de poisson est partout soigneusement recueilli; au lieu de l'abandonner aux hasards du fleuve, le riverain vigilant emporte cette semence de richesse, pour lui donner un abri, en tout lieu où se trouvent les quelques gouttes d'eau nécessaires. Les réservoirs destinés à l'irrigation des cultures fourmillent de jeunes poissons. Le champ de riz est-il en friche, pendant l'hiver : quelques coups de pioche et un courant d'eau vont le changer en petit lac, où frétilleront les carpes; de même, la citerne, où s'accumule l'eau des pluies, est aussi un vivier.

Cet aménagement nous permet, sans sociétés de pisciculture jetant des millions d'alevins dans les fleuves, d'augmenter notre ordinaire d'une quantité considérable de poissons; une partie en est consommée à l'état frais; le reste, salé ou desséché, est expédié dans toutes les parties de l'empire et vendu à un prix rémunérateur, quoique toujours très modique.

Pour me résumer, je dirai que notre régime des eaux, considéré dans son ensemble, est une des plus grandes œuvres produites par l'intelligence et le travail de l'homme. C'est à lui que la Chine doit en grande partie l'aisance de ses innombrables habitants.

Ce n'est pas que tout soit parfait et que cette organisation ne laisse rien à désirer. Mais, du moins, savons-nous exactement quels sont nos desiderata et comment nous pouvons les réaliser.

Si nous avions un seul instant entretenu cette illusion que le plan général de la canalisation de l'empire n'offrait pas de lacunes, les événements de ces derniers temps nous eussent tristement convaincus de cette vérité, que l'homme n'est jamais au bout de sa tâche, et que quoi qu'il ait fait, il lui reste toujours à faire.

L'année dernière, le fleuve Jaune, qui semblait pour toujours enfermé dans son lit, déborda tout d'un coup; l'inondation atteignit des proportions qu'on ne connaissait plus depuis des siècles; des milliers de fa-

milles perdirent les unes leur fortune, les autres la vie, dans cette crue subite, qui paraissait railler tous les efforts si gigantesques, faits par l'homme, pour régulariser les forces brutales de la nature.

Ce malheur nous apprend deux choses : en premier lieu, que les rivières artificielles et les endiguements exécutés jusqu'à ce jour nécessitent une surveillance incessante; qu'il faut que l'œil du gouvernement central soit toujours ouvert sur ces artères de notre richesse, que la moindre négligence, les empiétements en apparence insignifiants des cultures, les réparations insuffisantes, peuvent changer du jour au lendemain en instruments de destruction.

En second lieu, nous devons avouer que, malgré la grandeur de l'œuvre accomplie, il nous faudra procéder à de nouveaux travaux, pour compléter le système.

Ici se présente une difficulté, résultant du caractère particulier de notre organisation sociale : tout notre territoire est, en effet, cultivé; il n'est pas un coin susceptible de produire qui n'ait reçu sa destination. Pour créer de nouveaux canaux, il nous faudra donc des sommes énormes destinées à indemniser les propriétaires dépossédés, sans compter la main-d'œuvre, toujours considérable pour ces sortes d'opérations, même dans nos régions où le travail humain se loue à si bon marché.

Aussi, les plans, dont on s'est préoccupé jusqu'à ce jour présentent-ils dans leurs grandes lignes des différences considérables. Les uns voudraient voir de nouveaux canaux s'ajouter aux anciens. D'autres préféreraient de vastes bassins, lacs artificiels où l'eau des crues viendrait s'emmagasiner, pour en sortir en temps voulu et aller répandre, dans les campagnes, la fertilité au lieu de la désolation.

Quelles que soient les difficultés qui s'opposent à leur exécution immédiate, nous pouvons déjà entrevoir le moment où ces grands travaux, complément indispensable de notre matériel hydraulique, seront menés à bonne fin. Alors, la Chine, dotée du plus gigantesque système de canalisation que le monde ait conçu, n'aura plus qu'à entretenir en bon état l'œuvre des anciens, revue et complétée par les modernes.

La paternelle sollicitude de notre gouvernement pour le peuple, l'emploi judicieux des puissantes machines créées dans ces derniers temps par la science de l'Europe, rendront cette dernière partie de notre tâche à la fois facile et économique.

Un mot pour terminer : j'ai traité avec beaucoup de détails la question que vous aviez bien voulu me poser; j'ai établi pour vous, aussi complètement que le peut un homme qui n'est pas du métier, l'état des choses dans mon pays; ce qui a été fait; ce qui demeure à faire.

J'ai peut-être été un peu long et je crains d'avoir abusé de votre bienveillante attention. Mais la longueur de cette conférence a son excuse : elle résulte d'un désir que vous ne pourrez trouver que légitime. J'ai voulu

vous démontrer, par le soin même que j'ai pris de traiter ce sujet avec tous les détails qu'il comporte; j'ai voulu vous démontrer quelle importance j'attachais à cette question si importante de l'utilisation des eaux et, par conséquent, combien j'étais pénétré de la grandeur du but que vous poursuivez et que résume le titre de votre Congrès.

Si j'ai pu vous faire entendre que telle était mon intention, que personne ne comprend mieux que moi quel intérêt primordial présentent pour la sécurité et l'existence même de l'espèce humaine les travaux qui vous occupent, alors je ne regretterai pas de vous avoir entretenus, fût-ce un peu longuement, de l'utilisation des eaux en Chine.

Paris, 26 juillet 1889.

HISTORIQUE

DES AMÉLIORATIONS SUCCESSIVES DE LA NAVIGATION DE LA SEINE

CONFÉRENCE

Faite le 27 juillet 1889

PAR

M. CAMÉRÉ
Ingénieur en chef des Ponts et chaussées.

SOMMAIRE

SITUATION DE LA NAVIGATION DE LA SEINE AVANT 1789.

Existence de corporations de bateliers sous la domination romaine et pendant l'invasion des barbares. — Hanse parisienne ou des marchands de l'Eau de Paris. — Ghilde des marchands de l'Eau de Rouen. — But, privilèges et action de ces corporations. 327
Entraves rencontrées par la navigation au moyen âge et jusqu'en 1789. — Péages. — Passage des ponts. — Obstruction des chemins de halage. 329
Mesures de police prises par les pouvoirs publics pour faire disparaître ces entraves. — Défense de prélever des péages non autorisés. — Interdiction d'établir des moulins, pêcheries ou tous autres obstacles à la navigation. — Fixation des zones de servitude des chemins de halage et de contre-halage. — Mode d'entretien de ces chemins. — De leur surveillance par les *plancagers*. 329
Organisation du halage. 331
Maîtres de ponts et de pertuis. — Exemples de difficultés de passage aux ponts et pertuis : Pont de Pont-de-l'Arche, pertuis de Poses. 332
Apparition à la fin du dix-septième siècle des services réguliers de batellerie. — Diligences par eau. — Coches d'eau. — Développement pris par ces transports à la fin du dix-huitième siècle. 332
État de la rivière à cette époque. — Mouillage disponible. — Modes de navigation employés. — Tonnage et tirant d'eau des bateaux. — Durée des voyages. — Prix des transports. 333

HISTORIQUE DES AMÉLIORATIONS DE LA NAVIGATION DE LA SEINE DEPUIS 1789.

Études et travaux poursuivis de 1789 *à* 1835. — Suppression des droits de péage (1790). — Reconnaissance des conditions de navigabilité de la Seine entre le Havre et Paris, par MM. Forfait et Sganzin, ingénieurs, et propositions de MM. Sganzin et de Cessart pour l'établissement d'une navigation maritime entre le Havre et Paris (1796). — Exécution de la dérivation éclusée de Pont-de-l'Arche (1804-1813). — Établissement des droits de navigation (30 floréal an X). — Mission donnée à Bérigny, inspecteur général divisionnaire, pour l'étude des moyens à adopter pour assurer à la Seine une navigation maritime du Havre à Paris (1820). — Présentation par Bérigny d'un premier

projet comportant une navigation pour les bateaux de 2 à 3 mètres de tirant d'eau (1824). — Présentation par Bérigny d'un deuxième projet comportant un tirant d'eau de 6 mètres (1825). — Soumission par la Compagnie Flachat et consorts d'un canal maritime entre le Havre et Paris, avec un tirant d'eau de 6 mètres du Havre à Rouen, et de 5m,50 en amont (1825). — Abandon de ce canal par la Compagnie avec proposition de borner les travaux à un canal entre Paris et Rouen avec 3m,50 de mouillage (1829). — Étude de M. Frimot, ingénieur des ponts et chaussées, pour l'établissement d'un canal maritime entre le Havre et Paris avec un mouillage de 5 mètres (1827). — Reconnaissances effectuées sur la Seine, entre Rouen et Paris, par MM. Coïc et Duleau, ingénieurs des ponts et chaussées, et propositions pour obtenir un mouillage de 2 mètres (1829-1830). 334

Coup d'œil sur la situation de la navigation en 1835. — Données principales du régime de la basse Seine. — Difficultés que présentait la navigation d'après MM. Coïc et Duleau. — Traversée des chevaux d'une rive à l'autre. — État des chemins de halage. — Passage des ponts et des pertuis ou parties de rivières étroites et peu profondes. — Passage du pertuis de Martot, du pertuis de Poses, du pont de Vernon, du pertuis de la Morue. — Vitesse de marche atteinte. 339

Réalisation du mouillage de 1m,60. — Enquêtes poursuivies au sujet des travaux à entreprendre pour l'amélioration de la navigabilité de la Seine entre Paris et Rouen. Projet présenté dans ce but par M. Poirée, ingénieur en chef. — Approbation de l'exécution d'un barrage à fermettes et aiguilles pour remplacer le pertuis de la Morue. Préparation du projet relatif à un mouillage de 1m,60. — Loi du 31 mai autorisant les les travaux à ce nécessaires. — Indication et exécution de ces travaux (1835-1857). 346

Réalisation du mouillage de 2 *mètres.* — Constatation de l'insuffisance des travaux exécutés par le mouillage de 1m,60. — Études pour remédier à cet état de choses et obtenir un mouillage de 2 mètres. — Lois et décrets autorisant les travaux à ce nécessaires. — Indication et exécution de ces travaux (1858-1873). 348

Réalisation du mouillage de 3m,20. — Préparation de l'avant-projet. — Enquêtes. — Lois autorisant les travaux. — Dispositions admises pour le profil en long. — Mise en service des ouvrages. — Indication des ouvrages constituant chaque retenue et des types adoptés pour les écluses et les barrages (1874-1886). 349

PROGRÈS RÉALISÉS DE 1789 A 1889 DANS LE RÉGIME DE LA BASSE SEINE AINSI QU'AU POINT DE VUE COMMERCIAL.

Augmentation du tirant d'eau. — Augmentation du tonnage des bateaux. — Augmentation des vitesses de marche. — Augmentation du mouvement commercial. — Diminution de la valeur du fret. — Conclusions. 354

HISTORIQUE

DES AMÉLIORATIONS SUCCESSIVES DE LA NAVIGATION DE LA SEINE

CONFÉRENCE

Faite le 27 juillet 1889

PAR

M. CAMÉRÉ

Ingénieur en chef des Ponts et chaussées.

Messieurs,

Le Comité d'organisation de notre Congrès m'a fait l'honneur de me charger de vous retracer l'historique des améliorations successives de la navigation de la Seine; mais avant de vous rendre compte de la manière dont ce problème difficile a été résolu et de vous exposer les résultats obtenus, il m'a paru qu'il ne serait pas sans intérêt de vous présenter un tableau sommaire des conditions qu'offrait cette navigation, entre Paris et Rouen, avant 1789, et même de faire, à ce propos, une rapide incursion dans le passé.

Situation de la navigation de la Seine avant 1789.

Si l'on en juge par une inscription du temps de Tibère, trouvée dans l'emplacement du chœur de Notre-Dame de Paris, et qui fait mention des *Nautæ parisiaci*, l'importance de cette navigation sous la domination romaine, était assez grande pour justifier la formation de corporations de bateliers.

Que devint cette navigation après la chute de l'Empire romain et pendant l'invasion des barbares? C'est ce qu'il est impossible de préciser, mais il est à présumer qu'elle conserva une certaine activité, vu les facilités de transport inappréciables que fournissait la voie fluviale, comparativement à la voie de terre, pour faire pénétrer, dans le centre du pays, les marchandises arrivant de la mer, et faire descendre, sur Rouen et au delà, celles provenant du haut de la vallée.

Quoi qu'il en soit, il est certain que, dès le commencement de la

monarchie, la navigation de la Seine avait un développement marqué, puisque en 683 Dagobert attribua à l'abbaye de Saint-Denis les droits sur cette navigation qui appartenaient à son fisc, et que Charlemagne, dans un capitulaire de 755, est obligé de sévir contre les péages non régulièrement établis.

Quant aux corporations de bateliers, il semble que, loin de disparaître pendant ces temps troublés, elles se soient, au contraire, perpétuées en se transformant suivant les circonstances, et aient donné naissance à deux puissantes corporations siégeant, l'une à Paris, et l'autre à Rouen.

La première, connue sous le nom de *Hanse* parisienne ou des *Marchands de l'Eau* de Paris, étendait sa domination de Paris à Mantes.

Suivant un diplôme de Louis VII (1170) confirmatif des privilèges de cette corporation, qualifiée d'antique dans ce document, nul ne pouvait faire transporter des marchandises par eau du pont de Mantes à Paris, s'il n'était marchand hansé ou associé d'un marchand de l'Eau de Paris.

Cette corporation, qui fut l'origine du pouvoir communal de la ville de Paris, ne fut supprimée qu'à l'époque de la Révolution française, bien que ses privilèges eussent été abolis par un édit de l'an 1672.

La seconde, portant le nom de *Ghilde des marchands de l'Eau* de Rouen, avait son siège dans cette ville, et aucune marchandise ne pouvait, sans son intervention, être expédiée par la Seine de Rouen à l'intérieur du Royaume.

Son action, toutefois, s'arrêtait à la limite de la frontière du duché de Normandie, et, au delà, en vertu des privilèges qui appartenaient à la Hanse parisienne, les bateaux provenant, ou à destination de Rouen, étaient obligés de prendre ce qu'on appelait *Compagnie Française*; sauf, cependant, pour les bateaux vides, qui pouvaient être conduits par les Rouennais, jusqu'au Ru-du-Pec près de Saint-Germain, pour être chargés en vue de la descente seulement. Ce droit reconnu par le diplôme de Louis VII, fut étendu par un arrêt du Parlement, de 1270, aux bateaux appartenant aux marchands de Rouen et à destination de Pontoise, c'est-à-dire dépassant la ville de Mantes.

Les privilèges de la Ghilde des marchands de l'Eau de Rouen disparurent avec ceux de cette ville, à la suite de la révolte de cette dernière en 1292.

La liberté de la navigation de la basse Seine fut alors proclamée par Philippe le Bel avec droit, pour les marchands, de traverser librement le port de Rouen à la remonte et à la descente, d'y aborder et d'y faire tout acte de commerce.

Ces corporations, dont l'objet était d'assurer à leurs associés des avantages commerciaux considérables, avaient en outre pour but de sauvegarder et de défendre les intérêts du commerce fluvial contre les entraves et les abus de toutes sortes qu'il rencontrait de la part des seigneurs féodaux, des corps religieux et communaux et même de la royauté! Elles

Imp. Erhard Fr

rendirent, à ce point de vue, de grands services à la navigation tant que le pouvoir royal ne fut pas assez fort pour prendre en main ses intérêts et les faire respecter.

Parmi ces entraves, il y a lieu de citer : la perception de droits de péages variés dont la navigation était frappée le long du cours de la Seine; les ponts à arches étroites construits successivement pour assurer les communications de rive à rive, et qui furent masqués, peu à peu, par des moulins et des pêcheries fixes donnant de grands revenus à leurs propriétaires ou bénéficiaires; enfin les obstacles opposés, sur les rives, au libre passage nécessaire pour le halage des bateaux.

Un arrêt du Parlement de 1273 défendit, derechef, l'établissement de nouveaux péages; mais il y a lieu de supposer que cette défense ne parvint pas à arrêter les abus, pas plus du reste que les arrêts et ordonnances antérieurs pris à ce sujet, car la royauté fut obligée de renouveler cette défense par la suite, notamment aux quatorzième, quinzième et seizième siècles.

En ce qui concerne les difficultés de navigation à la traversée des ponts, on chercha à les aplanir par la création de *maîtres de ponts* chargés d'assurer, à leurs risques et périls et moyennant redevance, la manœuvre des bateaux à ces passages, création remontant au règne de Charles VI, en l'an 1415; et, plus tard, par des ordonnances et des arrêts dont le plus ancien, en date du mois d'août 1669, porte défense de construire des moulins, pêcheries ou tout autre obstacle à la navigation, et enjoint de faire disparaître ceux de ces ouvrages non légalement autorisés.

Quant à l'établissement de la servitude sur les propriétés riveraines pour le halage, il semble remonter, sur la Seine, à une haute antiquité. Il en est fait mention dans l'ordonnance de Charles VI du mois de février 1415, et cette servitude, qui subsiste encore, a été rappelée dans l'ordonnance des eaux et forêts de 1669, laquelle prescrit de conserver libre de tout obstacle une zone de $9^m,75$ sur la rive affectée au halage et de $3^m,25$ sur celle affectée au contre-halage.

C'est, du reste, dans cette même ordonnance que figure la déclaration formelle que tous les fleuves et rivières navigables font partie du domaine de la couronne, origine du domaine public fluvial actuel.

Pour compléter ces renseignements sur l'organisation de la navigation antérieure au dix-neuvième siècle, il me reste à signaler comment s'exerçait alors la police la concernant.

La Hanse des marchands de l'Eau de Paris, considérée comme privée jusqu'à la fin du douzième siècle et au commencement du treizième, ainsi qu'en témoignent les chartes royales de cette époque, perd ce caractère à la fin du treizième siècle.

Dans un arrêt du Parlement de l'an 1277, ses chefs y sont qualifiés de Prévôts et Échevins jurés des marchands de l'Eau, et c'est à ce prévôt que, jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, incombait la juridiction relative à la police du commerce fluvial.

En ce qui concerne Rouen, la Ghilde des marchands de l'eau ne paraît jamais avoir eu les mêmes pouvoirs, lesquels appartenaient à la Vicomté de l'Eau dont mention est faite dans divers documents du commencement du treizième siècle.

La Vicomté de l'Eau constituait une ferme dont le titulaire, non seulement était préposé à la perception de droits prélevés sur le commerce effectué par voie d'eau, suivant un *Coutumier* très ancien qui fut reconnu comme ayant force de loi par un édit du 22 mai 1554, mais exerçait, d'après ce même édit, une juridiction qui s'étendait sur les différends entre les marchands de Rouen et les marchands forains trafiquant par mer et par Seine; sur les obligations relatives aux voiturages des marchandises amenées à Rouen, soit par terre, soit par eau; et sur la police relative à la navigation.

Toutefois, dès la fin du treizième siècle, cette double attribution ne fut pas conservée à la Vicomté de l'Eau, et, à côté du fermier chargé exclusivement de la perception, il y eut un magistrat auquel fut réservée, avec le titre de Vicomte de l'Eau, la juridiction de la Vicomté.

Cette juridiction disparut en 1789.

Si les institutions dont il vient d'être question ont permis à la navigation de la Seine de se maintenir pendant les siècles précédents, il faut reconnaître que cette industrie devait avoir une vitalité bien remarquable, car l'aide donnée au commerce par ces institutions n'était pas gratuite; les péages étaient excessifs et les conditions de navigation bien défectueuses, ainsi que le feront ressortir quelques exemples.

En ce qui concerne notamment la Hanse parisienne, les privilèges dont elle jouissait entraînaient, entre autres, pour les bateaux montants de Rouen, des charges vraiment exorbitantes.

Arrivés à Mantes, ils ne pouvaient continuer leur route, ni décharger, si l'expéditeur n'était pas un bourgeois hansé de Paris, c'est-à-dire ayant droit de bourgeoisie dans cette ville et membre de la Hanse. Dans le cas contraire, il était tenu de faire, au prévôt des marchands, la déclaration de son intention de vendre sa marchandise, et ce magistrat lui assignait un marchand hansé de Paris à titre de compagnon. Ce dernier avait alors le droit, à son gré, soit de prendre la moitié de la cargaison au prix réel que l'expéditeur était tenu d'indiquer, soit de percevoir la moitié du bénéfice réalisé sur la vente de cette cargaison.

Toute infraction à ce privilège était rigoureusement poursuivie devant le Prévôt, assisté des Échevins des marchands de l'Eau, lesquels déclaraient *forfaite* la marchandise saisie, autrement dit confisquée au profit du roi et de la corporation.

A côté de ce privilège qui grevait lourdement le commerce, les mariniers avaient, en outre, à acquitter de nombreux péages, dont l'ensemble devait s'élever à un chiffre total important, si l'on en juge par le nombre de localités où il en était perçu, et par la variété de leur nomenclature.

C'est ainsi qu'au dix-huitième siècle, alors que le pouvoir royal avait assez d'autorité pour faire disparaître les péages abusifs, il n'en existait pas moins de dix-neuf entre Paris et La Roche-Guyon, sur un parcours de 133 kilomètres seulement, à savoir : à Sèvres, Neuilly, Saint-Denis, Épinay, Argenteuil, Bezons, Chatou, Le Pecq, Maisons, Sartrouville, Conflans, Andrésy, Poissy, Triel, Meulan, Lislebelle, Mézy, Mantes et La Roche-Guyon.

Quant aux péages, en ne s'attachant qu'aux principaux, ils comprenaient, pour la marchandise : les droits de *tonlieu*, impôt perçu au profit du pouvoir souverain ; de *boëte* ou de *navigation*, lequel était ainsi nommé parce qu'il était recueilli dans des boîtes ; de *jettement*, applicable aux marchandises débarquées ; de *levage*, prélevé au passage des marchandises d'un pays dans un autre ; et, pour les bateaux eux-mêmes : les droits de *gouvernail* et d'*escuyage*, autrement dit de pilotage ; les droits de *montage* et d'*avalage* dus par les bateaux à la remonte et à la descente ; les droits de *chaîne*, de *pontage* et de *travers*, prélevés au passage des ponts, des bacs et de divers territoires ; le droit de *palage* pour l'usage des pieux d'amarrage et de l'ancre ; enfin le droit de *neuvage* exigé de tout bateau neuf ou passant pour la première fois en certains points.

Les mariniers s'imposaient, en outre, pour faire face à la défense de leurs intérêts, des cotisations volontaires qui portaient également le nom de droit de boëte, eu égard à leur mode de perception.

Il convient de remarquer, en passant, que la perception de ces différents droits était d'autant plus onéreuse pour le commerce, qu'elle souffrait de nombreuses exceptions, par suite de privilèges dont jouissaient un grand nombre de seigneurs et de confréries religieuses.

Au point de vue de la navigation en elle-même, entre Paris et Rouen, les mariniers avaient également à lutter contre de sérieuses difficultés.

Bien que partie des péages fût affectée, en principe, à l'amélioration des conditions de navigabilité de la Seine, il ne paraît pas que, jusqu'à la fin du siècle dernier, les pouvoirs publics aient eu d'autres préoccupations que la conservation des chemins de halage existant le long de cette rivière.

L'entretien de ces chemins était à la charge des riverains et, dans la partie comprise entre Rouen et Mantes, la surveillance de cet entretien était placée sous l'autorité du Vicomte de l'Eau de Rouen, qui l'exerçait par l'intermédiaire des *plancagers*.

D'après des règlements remontant à 1446, ces *plancagers*, qui étaient autorisés à fournir des chevaux pour le halage d'après des tarifs déterminés, avaient droit de faire abattre les arbres et arbustes pouvant gêner cette opération, et mission d'assurer, au moyen de planches, le passage des vallées et fossés traversés par les chemins de halage.

Si le bon entretien et la liberté des chemins de halage avaient une véritable importance pour les mariniers, le passage des ponts n'en présentait pas une moins grande, car ils constituaient une des plus grandes gênes de la navigation de la Seine, ainsi du reste que le passage des pertuis,

nom sous lequel on désignait les rapides situés sur la rivière en nombre de points ; et dont l'un, celui de la Morue, à partir de 1685, date de l'installation de la machine de Marly, fut remplacé par une passe rétrécie comprise entre deux bajoyers en maçonnerie.

A la fin du dix-huitième siècle, il existait des maîtres de pont dans les localités suivantes :

Sèvres, Saint-Cloud, Neuilly, Chatou, Le Pecq, Poissy, Meulan, Mantes, Vernon, Pont-de-l'Arche, et des maîtres des pertuis à la Morue, au Petit-Andely, à Poses et à Martot.

Les difficultés de passage aux ponts et pertuis étaient des plus sérieuses, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les deux exemples suivants.

A Pont-de-l'Arche, jusqu'au commencement de ce siècle, la chute produite par les arches étroites et embarrassées du pont occasionnait un rapide qui ne pouvait être franchi par les bateaux qu'avec le secours de cinquante chevaux et d'un grand nombre d'hommes que la ville était obligée de fournir dès que le maître de pont les réclamait, ainsi, du reste, que cela était d'usage pour tous les ponts et pertuis.

Un vitrail du quinzième siècle, qui se trouve dans l'église de cette ville, représente cette opération en détail : on y voit la remorque principale du bateau qui franchit le pont, divisée à terre en plusieurs remorques secondaires sur lesquelles agissent, soit des attelages de chevaux, soit des groupes de personnes comprenant des hommes et même des femmes.

A Poses, le pertuis de ce nom était également très dangereux et très difficile pour la navigation, tant à cause de la rapidité du courant qui s'y produisait, que de la sinuosité du chenal à travers de nombreux hauts fonds.

Non seulement il fallait des pilotes très habiles pour conduire le bateau à travers ce pertuis, mais on était obligé d'avoir recours à une série de manœuvres opérées à l'aide de chevaux placés sur chaque rive, et de mariniers agissant sur des remorques et des amarres que l'on fixait, suivant les besoins, à des pieux disposés sur les rives, de manière à faire évoluer le bateau et à l'empêcher d'être entraîné par le courant.

Toute la population du village de Poses, qui fournit encore à la navigation actuelle la majeure partie de ses pilotes et de ses mariniers, vivait de ces manœuvres, lesquelles nécessitaient, en outre, la présence sur place d'une nombreuse cavalerie, si l'on en juge par ce fait qu'il fallait employer jusqu'à 40 chevaux de renfort pour faire franchir ce passage à un bateau portant douze cents milliers, soit 600 tonnes de marchandises.

Jusqu'au commencement du dix-septième siècle, il ne paraît y avoir eu sur la Seine aucun service de batellerie régulier pour le transport des voyageurs, et il faut arriver à la fin de ce siècle pour trouver un service de ce genre installé entre Rouen et Paris.

En mai 1674, Louis XIV accorda au duc de Noailles le privilège de faire partir, chaque semaine, dans chaque sens et à jour fixe, deux bateaux

désignés sous le nom de diligences par eau et, plus tard, de coches d'eau, et destinés au transport des personnes et marchandises.

Pendant le cours du dix-huitième siècle, le nombre de ces entreprises se multiplia considérablement sur la Seine et, en 1746, trente-quatre bateaux, à dix chevaux pour la plupart, étaient employés à cet usage.

Le développement pris par cette industrie des coches d'eau ne tarda pas à nécessiter une réorganisation générale et une réglementation spéciale; ce qui fut fait par des arrêts du conseil d'État de 1778 et 1783.

Comme je l'ai signalé précédemment, la Seine, entre Paris et Rouen, n'a été l'objet d'aucune amélioration au point de vue de sa navigabilité avant le commencement de ce siècle; de sorte qu'en faisant abstraction des perturbations apportées à son régime par la présence des ponts, cette rivière est restée jusqu'à cette époque à l'état naturel.

La navigation avait donc, par là même, à compter d'une manière complète avec les variations de mouillage provenant du régime des eaux.

Si, en grosses eaux, la batellerie pouvait facilement trouver un tirant d'eau de 2 mètres, et même un tirant d'eau supérieur en temps de hautes eaux compatibles avec le passage des ponts; en basses eaux, le mouillage s'abaissait au-dessous de $0^m,65$, ainsi qu'il appert des prescriptions de l'ordonnance du roi de décembre 1672, et ne dépassait pas $0^m,50$ dans le pertuis de Poses, d'après d'autres documents.

Avec de pareils mouillages, la navigation, en été, ne pouvait se faire qu'en chargeant très peu les bateaux et en les faisant accompagner par des allèges destinées à recevoir, en route, à la traversée des passages difficiles, une partie des marchandises, ou même à les transporter en dépôt à terre, pour être reprises à un autre voyage, si la baisse des eaux venait à s'accentuer.

Les bateaux employés au moyen âge, sur la Seine, ne paraissent pas avoir eu de bien grandes dimensions, puisque l'ordonnance de Charles VI, établissant les premiers maîtres de ponts, ne fait mention, dans le tarif à appliquer, que de bateaux de 120 tonneaux. Mais cette dimension fut considérablement dépassée par la suite.

En 1789, on en était arrivé à l'emploi de trois types principaux de bateaux. Le plus grand comprenait des bateaux, connus sous le nom de *besognes*, pouvant porter de 600 à 700 tonnes, avec un tirant d'eau de $1^m,80$ à 2 mètres, mais qui ne naviguaient que pendant les grosses eaux, soit en décembre, janvier et février, et ne faisaient qu'un ou deux voyages par an.

Les bateaux du type courant étaient du port de 150 à 300 tonnes et marchaient en toute saison, en faisant varier leur charge suivant les circonstances; leur remonte ne demandait pas moins de 15 à 20 jours.

Ceux qui voyageaient en accéléré et marchaient de jour et de nuit, arrivaient à ne mettre que quatre-vingts à quatre-vingt-dix heures pour se

rendre de Rouen au port Saint-Nicolas à Paris, mais cela ne s'appliquait qu'à un petit nombre de bateaux.

Enfin, le troisième type comprenait des bateaux de 100 à 120 tonnes, marchant également en accéléré, et qui transportaient principalement des huîtres pour l'approvisionnement de Paris.

Les prix de transport étaient alors de 16, 18 et 20 francs les 1000 kilogrammes pour les marchandises ordinaires, et s'élevaient jusqu'à 30 francs pour celles de valeur, encombrantes, ou délicates.

Telle était la situation de la navigation de la Seine à la fin du siècle dernier. Il me reste maintenant à vous indiquer par quelles phases elle est passée depuis, et ce qu'elle est devenue.

Historique des améliorations de la navigation de la Seine depuis 1789.

La révolution, dès son début, amena une profonde modification dans les conditions de la navigation de la basse Seine.

Tous les droits de péage ayant été supprimés par le décret du 15 mars 1790 de l'Assemblée constituante, cette navigation se trouva, par là même, affranchie des nombreuses charges fiscales qui l'accablaient.

Mais si, au point de vue économique, ce fut là un résultat considérable, cela ne suffisait pas pour assurer, à cette navigation, tout le développement compatible avec le régime très satisfaisant de ce fleuve entre Paris et Rouen, et le Gouvernement dut se préoccuper des travaux à entreprendre pour faire disparaître les obstacles existants.

Un arrêté du 21 vendémiaire an II (12 octobre 1794), pris sur la proposition de Carnot, chargea MM. Forfait et Sganzin, devenus plus tard : le premier, Ministre de la marine, et le second, Inspecteur général des ponts et chaussées, de faire construire, au Havre, un navire « tel qu'ils le jugeraient convenable » pour remonter de la mer à Paris.

Ce navire, nommé le *Saumon*, était un lougre de $24^m,35$ de long, $5^m,84$ de large et $2^m,60$ de creux.

Il partit du Havre le 7 juin 1796, avec 160 tonnes de chargement, et parvint à Paris en onze jours.

Cette mission fit l'objet d'un rapport daté du 3 août de la même année, par lequel les ingénieurs Sganzin et de Cessart concluaient à la possibilité d'assurer, par la Seine, l'accès de Paris à la navigation maritime, moyennant l'établissement de cinq dérivations éclusées, destinées à raccourcir le trajet et à éviter les passages difficiles. La longueur de ces dérivations présentait 16250 toises et les dépenses à faire étaient évaluées à 4500000 fr.

Ce projet n'eut aucune suite, et il faut arriver aux premières années de ce siècle pour voir le Gouvernement entreprendre des travaux sur la Seine.

En 1804, une dérivation éclusée contournant la culée rive droite de l'ancien pont de Pont-de-l'Arche fut commencée.

Cette écluse présentait les dimensions suivantes :

Longueur entre les têtes.	115m »
Longueur entre les pointes des buscs	87m,50
Largeur d'entrée des têtes.	10 »
Largeur du sas.	14 »

Elle fut terminée en 1813[1] et resta en service jusqu'en 1856, époque de la construction du beau pont en pierre à larges arches qui a remplacé l'ancien.

Telle était la disposition des travaux que l'on comptait employer également pour l'amélioration des autres passages difficiles de la basse Seine, et notamment du pertuis de Poses et du pont de Vernon.

Les événements politiques et la pénurie du Trésor s'opposèrent à la poursuite de ces projets, bien que la loi du 30 floréal an X, en établissant des droits sur la navigation, eût prévu la spécialisation des produits de ces droits, c'est-à-dire leur affectation aux travaux de la voie navigable sur laquelle ils étaient perçus, et constitué, par là même, en principe, une dotation annuelle importante au profit de la basse Seine.

En 1820, l'Administration, qui se préoccupait alors vivement de la navigation intérieure et préparait les lois de 1821 et 1822 sur les canaux, porta tout particulièrement son attention sur la Seine en aval de Paris, et le Directeur général des ponts et chaussées Becquey chargea Bérigny, inspecteur général divisionnaire, de procéder à une étude sur les moyens à adopter pour assurer, sur ce fleuve, une navigation maritime du Havre à Paris : « *Sans lui tracer d'autres limites que celles du possible, en se pénétrant de cette pensée que les avantages de cette ligne ne sont pas hors de proportion avec les conceptions les plus hardies.* »

En 1824, Bérigny remit un premier projet comportant une navigation pour des bateaux de 2 à 3 mètres de tirant d'eau; mais en présence de la déclaration faite par Charles X en visitant le canal Saint-Denis, le 29 novembre 1824, qu'il accueillerait avec bienveillance la pensée de faire venir à Paris les grands navires de mer, cet ingénieur remania son projet, et, au mois de mars 1825, en présenta un second, dans lequel le tirant d'eau du canal maritime à établir entre le Havre et Paris était de 6 mètres.

Laissant de côté toute entrée dans la baie de Seine afin d'éviter les difficultés de navigation qu'on y rencontre, Bérigny faisait partir le canal du Havre même, et il lui faisait suivre la rive droite de la vallée de la Seine jusqu'en amont de Caudebec; de ce point jusqu'à Rouen, il utilisait le cours même de la rivière.

A partir de cette ville jusqu'à Paris, le canal était de nouveau établi latéralement au fleuve, mais en occupant alternativement, pour se plier aux dispositions de la vallée, l'une et l'autre rive.

Le passage du canal à travers le lit de la Seine, à chaque changement de

1. Le premier passage de bateau par cette écluse a eu lieu le 14 août 1813.

rive, était obtenu à l'aide de barrages établis en rivière, en aval de ces points de passage.

D'après ce tracé, la longueur du canal maritime du Havre à Paris était évaluée à 283 kilomètres; procurant ainsi une diminution notable sur le parcours de 368 kilomètres que présente le cours de la Seine entre ces points.

Pendant que Bérigny poursuivait sa mission, une compagnie des plus sérieuses s'était constituée pour l'étude d'un canal maritime de la mer à Paris suivant la vallée de la Seine, et soumissionna l'entreprise de ce canal.

Une ordonnance royale du 15 février 1825 autorisa les soumissionnaires MM. Flachat, Piraut des Chaumes et consorts, à procéder, à leurs frais, à la rédaction d'un projet aux conditions indiquées dans leur soumission, après quoi : « *il serait statué ce qu'il appartiendrait quand ils présente-* « *raient leurs propositions définitives* ».

Les soumissionnaires s'étaient engagés :

1° A soumettre leurs projets à la discussion d'un Conseil directeur qui nommerait deux commissions composées : l'une de trois ingénieurs, pour vérifier et rectifier, s'il y avait lieu, les plans et estimations; l'autre de négociants chargés de vérifier les produits du canal et le tarif des droits à percevoir;

2° A ce que les travaux de ces commissions, après avoir été examinés et arrêtés par le Conseil directeur, fussent soumis à la vérification de la Direction générale des ponts et chaussées.

Le Conseil directeur comprenait : le prince de Polignac, le comte Beugnot, le baron Ch. Dupin, le baron Vitrolles, Berryer et Mollien, et la Commission de vérification des travaux : les inspecteurs divisionnaires des ponts et chaussées de Prony, Dutens et Cavenne.

Quant aux ingénieurs chargés des études sur le terrain, c'étaient MM. Dausse, Fresnel, Petit et Sénéchal, appartenant au corps des ponts et chaussées, et que la Compagnie avait été autorisée à s'adjoindre.

Le projet de la Compagnie, amendé suivant les indications de la Commission de vérification, fut présenté, en 1827, pour la partie de Rouen à Paris, et, en 1828, pour la partie maritime.

En ne considérant que les dernières dispositions proposées, le canal était projeté pour donner passage, avec son mouillage normal, à des navires de 500 tonneaux. Ce mouillage était fixé à $6^m,00$ du Havre à Rouen, et à $5^m,50$ en amont. La section normale comportait une largeur de 18 mètres au plafond, de 33 mètres au plan d'eau, et de 44 mètres au niveau des chemins de halage.

Le canal partait des bassins du Havre pour se développer au pied des coteaux qui bordent la rive droite du fleuve jusqu'à Yainville, en passant devant Harfleur, Tancarville et Caudebec, et en traversant les marais d'Estelan et de Radicatel.

A Yainville, il coupait la presqu'île de Jumièges, pour aboutir, en Seine, à Saint-Paul, un peu en aval de Duclair, au moyen d'une écluse; puis il empruntait le cours du fleuve jusqu'à Rouen.

A partir de cette ville jusqu'à Paris, le canal abandonnait complètement le lit de la Seine, sauf pour les traversées d'une rive à l'autre imposées par les dispositions de la vallée, et était constitué par une série de dérivations dont chacune était commandée par une écluse, tant en amont qu'en aval.

En ce qui concernait les traversées de la Seine, elles étaient assurées par l'emploi de barrages fixes établis transversalement à la rivière, immédiatement en aval des embouchures des dérivations à mettre en communication.

Quittant la Seine, un peu en aval de Rouen, le canal passait derrière Saint-Sever, suivait la rive gauche de la Seine jusqu'à Oissel, traversait le fleuve en ce point, coupait la presqu'île de Saint-Aubin, entre Tourville et Sotteville-sous-le-Val, et gagnait le Manoir par la rive droite de la Seine.

Au Manoir, le canal traversait à nouveau le fleuve, et, par la rive gauche, atteignait Vernon.

Un nouveau changement de rive avait lieu, à Vernon, pour emprunter la rive droite jusqu'à Porcheville, un peu en amont de Mantes; puis le canal reprenait la rive gauche jusqu'à Maisons, franchissait la Seine, et, au moyen d'une tranchée à travers la presqu'île de Croissy, à la hauteur de Sartrouville, aboutissait à Bezons.

Là, traversant une dernière fois la rivière, le canal s'engageait dans la presqu'île de Gennevilliers pour aboutir, en Seine, vis-à-vis de l'entrée du canal Saint-Denis. C'était sur cette presqu'île que devaient être établis les ports, magasins et entrepôts réels pour l'usage du canal.

Sa longueur totale, y compris la portion empruntée au fleuve entre Saint-Paul et Rouen (36 kilomètres), était de 297^{k},600.

La dépense à faire était évaluée à 146 000 000 de francs non compris une dépense de 25 000 000 de francs à prévoir pour l'établissement de docks à Paris et à Rouen. Toutefois, cette évaluation ne parut pas suffisante au Conseil général des ponts et chaussées qui indiqua, comme chiffre minimum à prévoir, celui de 215 000 000 de francs.

En présence de l'importance des dépenses que comportait l'exécution du canal complet, la Compagnie concessionnaire résolut de borner son entreprise à l'établissement du canal entre Paris et Rouen seulement.

Elle présenta, en conséquence, le 27 mars 1829, un nouveau projet rédigé par Bayard de la Vingtrie, ne comportant plus qu'un mouillage de 3^{m},50 estimé comme suffisant pour permettre aux navires de mer de 200 tonneaux, qui fréquentaient alors Rouen, de remonter jusqu'à Paris. Ramené à cette proportion, le canal ne devait coûter que 64 000 000 de francs.

Ce nouveau projet ne put davantage aboutir en présence des questions

financières et des objections techniques que soulevait la construction du canal, et la Compagnie fut définitivement dissoute en 1832.

Parmi les objections techniques, la plus grave était relative au bon fonctionnement des systèmes de barrages que proposait la Compagnie pour fournir au canal le tirant d'eau prévu à ses traversées en Seine.

Le premier système, étudié par M. l'ingénieur Duleau, comportait l'emploi d'un déversoir en maçonnerie disposé en courbe au milieu du cours de la rivière, et accompagné de chaque côté par cinq pertuis de 6 mètres d'ouverture fermés par des poutrelles.

Le second, étudié par Bérigny et modifié par Bayard de la Vingtrie, ne comprenait pas de partie fixe, mais seulement des pertuis d'une largeur de 10 mètres, fermés par des poutrelles de $10^m,41$ de longueur et de $0^m,45$ d'équarrissage.

L'une des extrémités de chaque poutrelle s'engageait dans une rainure des piles, tandis que l'autre s'appuyait sur un poteau-valet en fonte, composé de deux tronçons superposés.

Le tronçon inférieur était surmonté d'un arbre vertical s'élevant jusqu'au-dessus des piles, en passant librement à travers le tronçon supérieur. Grâce à ce fractionnement du poteau-valet, il était possible de faire échapper les poutrelles en deux fois ou en une seule fois, suivant la rapidité à donner aux manœuvres. Enfin un vide de $0^m,186$ était ménagé entre le radier et la poutrelle inférieure; ce vide était réputé suffisant pour assurer le débit total de la rivière en étiage.

Les piles de ces pertuis s'élevaient à $6^m,10$ au-dessus du radier du barrage placé à $2^m,60$ en contre-bas de l'étiage, et le vannage de poutrelles avait une hauteur de $5^m,60$.

Au cours des études poursuivies par la Compagnie concessionnaire, M. Frimot, ingénieur des Ponts et Chaussées, fit paraître (1827) une brochure par laquelle il préconisait, pour l'établissement d'une navigation entre Paris et la mer, l'emploi du cours même de la Seine sans aucune dérivation.

L'amélioration de la Seine maritime était obtenue par un rétrécissement du lit au moyen de digues submersibles; et celles de la basse Seine, entre Rouen et Paris, au moyen de dragages et de barrages mobiles accolés à des écluses.

Ces barrages, d'un type imaginé par cet ingénieur, se composaient d'un pont en maçonnerie, dans les arches duquel étaient disposées des vannes métalliques à axes horizontaux, superposées dans des cadres verticaux fixés aux piles ou culées voisines; vannes que l'on pouvait manœuvrer du pont au moyen de crémaillères agissant sur des bielles montées sur leurs arbres de rotation.

De Rouen à Paris, le projet de M. Frimot comportait sept de ces barrages, et le mouillage prévu était de cinq mètres.

A côté de ces études, il convient d'en citer une autre présentée, en

mai 1830, par MM. Coïc et Duleau, ingénieurs des Ponts et Chaussées, à la suite d'une double reconnaissance des conditions de navigabilité de la Seine, entre Rouen et Paris, exécutée par eux en juillet 1829 et en avril 1830.

Repoussant l'emploi de tout barrage, ces ingénieurs comptaient obtenir un mouillage minimum de 2 mètres en contournant les ponts et pertuis faisant obstacle à la navigation par sept dérivations éclusées et en améliorant le surplus du cours de la rivière par des dragages.

D'après ce projet, les dérivations à exécuter avaient une longueur de 60 kilomètres et la portion de rivière utilisée 156 kilomètres, d'où résultait une longueur totale de 216 kilomètres pour la nouvelle voie navigable entre Rouen et Saint-Denis.

La dépense à faire était estimée à 15 000 000 de francs.

Divers autres projets furent mis en avant à la même époque pour l'amélioration de la navigation de la Seine, mais ils ne présentent pas assez d'intérêt pour qu'il y ait lieu de s'y arrêter[1].

Les événements politiques de 1830 et l'attraction qu'exerça sur le public et le Gouvernement la construction des chemins de fer vinrent arrêter, pendant plusieurs années, toute nouvelle initiative concernant l'amélioration de la navigabilité de la Seine, et il faut arriver à l'année 1835 pour voir ce difficile problème remis sérieusement à l'ordre du jour et les projets aboutir enfin à des travaux importants.

Mais avant d'aborder cette nouvelle phase de la question, il devient indispensable, pour faire apprécier les résultats obtenus, d'indiquer les données principales du régime de la basse Seine et de préciser les difficultés que la navigation y trouvait, à cette époque, entre Paris et Rouen.

Envisagée dans son état naturel, la Seine, dont le parcours entre ces deux villes est de 242 kilomètres[2], ne présente pas une pente moyenne supérieure à $0^m,115$ par kilomètre, aussi bien en étiage qu'au moment des inondations. Son débit qui, en temps de crue extraordinaire, atteint 2000 mètres cubes, ne descend jamais au-dessous de 65 mètres cubes, et reste dans le voisinage de 150 mètres cubes pendant les basses eaux ordinaires; sa largeur est de 150 à 170 mètres entre Paris et l'Oise, et de 170 à 300 mètres entre l'Oise et Rouen; ses berges s'élèvent, d'une manière générale, à $4^m,50$ et même à 5 mètres au-dessus de l'étiage; enfin son lit, creusé dans la couche des alluvions anciennes qui forme le fond de la vallée, est très stable et ne présente nulle part d'affleurements rocheux.

1. En 1821, M. Gaudin, calculateur du Bureau des longitudes, proposa, pour assurer la navigation maritime dans le lit de la Seine, l'emploi de digues assez élevées pour contenir toutes les eaux en temps de crue, et le forage de puits artésiens, au nombre de 500, pour fournir un débit suffisant à la rivière en temps d'étiage.

En 1824, M. Montigny, capitaine de frégate, proposa, dans un mémoire, comme moyen pouvant être employé pour rendre Paris port de mer, l'emploi d'un certain nombre de canaux de redressement, et l'exécution, en rivière, de dragages assurant un mouillage de 12 pieds.

2. Du pont de la Tournelle, à Paris, au pont de Pierre, à Rouen.

Ce sont là, on le voit, des conditions tout à fait favorables pour répondre aux besoins d'une navigation d'une grande importance, et qui justifient toutes les tentatives faites pour en tirer parti.

En ce qui concerne les difficultés que présentait la navigation de la basse Seine avant 1835, je ne saurais mieux faire que de citer quelques fragments du mémoire par lequel MM. les ingénieurs Coïc et Duleau ont rendu compte des deux reconnaissances faites par eux : la première au mois de juillet 1829, soit en basses eaux, sur *le Bercy*, bateau sapin ponté chargé de 160 tonnes; et la seconde, au mois d'avril 1830, soit en hautes eaux, sur l'*Argenteuil*, bateau sapin ponté chargé de 190 tonnes.

« Le journal du premier voyage constate qu'il y a eu 52 traversées des « chevaux, soit d'une rive à l'autre, soit d'une rive à une île, soit d'une « île à une autre île, et que ces traversées ont exigé 15 h. 13. Le mauvais « état des berges, en quelques endroits coupées à pic, les graviers plats, « qui quelquefois ne permettent pas aux bateaux portant les chevaux de « se rapprocher du rivage, exigent on ne peut plus de force, d'adresse et « de docilité de la part de ces animaux qui ont à sauter de la grève sur le « bateau, à se tenir serrés au nombre de huit ou dix sur ce bateau étroit « ou *flette* qui peut à peine les contenir, à s'élancer ensuite de cette flette « sur le rivage et à gravir une berge escarpée. Les bateliers, ayant à peine « leur place au milieu des chevaux entassés sur le bateau, doivent le « gouverner d'une rive à l'autre malgré les courants et quelquefois les « vents contraires. Le voyage de 1829 n'a pu donner qu'une idée imparfaite « des difficultés et des dangers de ces traversées; le temps était beau, les « journées longues et l'eau non entièrement basse; mais lorsque la pluie « et le brouillard rendent la terre glissante, que le vent et le courant maî- « trisent et entraînent, soit le bateau de marchandises qui doit passer « d'une rive à l'autre, soit la flette chargée de chevaux, alors la difficulté, « les dangers et la perte de temps s'accroissent d'une manière effrayante.

« Si ces traversées ne donnent pas plus souvent lieu à des accidents, on « le doit à l'adresse, à la force et à la présence d'esprit des mariniers et « des conducteurs des chevaux. Nous pouvons faire la même remarque au « passage des ponts et pertuis; mais combien doit-on déplorer un emploi « aussi inutile de forces précieuses?

« Le deuxième voyage n'a exigé que douze traversées et, pour les faire, « 2 h. 2 au lieu de 15 h. 13, temps employé pendant la première recon- « naissance. Cette différence énorme est due surtout à ce que plusieurs « bras de la rive gauche, celle où se maintient de préférence le halage, « obstrués d'ensablement aux basses eaux, présentaient, à cause de la crue, « un tirant d'eau suffisant.

. . . . . .

« On peut voir par le journal des deux voyages, de juillet 1829 et

« d'avril 1830, que les chemins de halage sont souvent bas et étroits, de « sorte que, par les eaux moyennes, ils ont plusieurs portions noyées, et « que les chevaux sont obligés d'entrer dans l'eau. Ces chemins sont seule- « ment en terre, et la moindre pluie les rend glissants et difficilement pra- « ticables, ce qui augmente la fatigue et le nombre des chevaux de halage.

« Le mauvais état de ces chemins met souvent en danger la vie des « chevaux et de leurs conducteurs; ceux-ci portent une serpe parfaitement « aiguisée, pour couper subitement le cordage qui retient et tire le « bateaux, au cas où celui-ci serait entraîné de manière à ce que les « chevaux ne puissent plus tenir pied sur la rive.

. . . . . .

« La Seine, sur plus des cinq sixièmes de son cours, entre Rouen et « Saint-Denis, présente, comme on le verra plus bas, une profondeur « moyenne aux basses eaux de plus de deux mètres; mais en quelques « portions, le lit, obstrué d'îles qui divisent le courant et l'élargissent outre « mesure, n'a plus que des bras étroits et peu profonds. A ces difficultés « naturelles s'ajoutent le plus souvent des écueils artificiels, tels que des « *gords* ou *pêcheries* qui viennent toujours se placer dans ces défilés, ou « ailleurs des *ponts à piles nombreuses et rapprochées;* alors les diffi- « cultés et les dangers s'accroissent et deviennent un redoutable fléau. « Le journal de juillet 1829 présente déjà un exposé assez effrayant des « difficultés et des dangers des pertuis de *Martot*, *Poses*, *Lamarre*, *les* « *Andelys* et *Maisons*, et des ponts de *Vernon*, *Meulan* et *Poissy*; mais les « eaux étaient à 22 pouces au-dessus de leur état le plus bas; le *Bercy* « tirait 4 pieds 4 pouces et portait 200 tonneaux; aux basses eaux, il « n'aurait pu tirer ou *guéyer* que 30 pouces, et porter que 90 tonneaux; « la remonte des *ponts* et *pertuis* devient alors incomparablement plus « difficile. En juillet 1829, « le *Bercy* » a touché à *Martot*, à *Lamarre*, dans « un bras vis-à-vis la *Madeleine*, et à *Vernon*; une baisse de quelques « pouces survenant au milieu du voyage aurait pu arrêter sa marche. « Dans ce cas qui se présente fréquemment, des *flettes*, qui accompagnent « à cet effet le bateau, le déchargent des marchandises qui augmentent « son poids, et les lui rendent lorsqu'il a franchi le haut fond, ou les « chargent sur quelque autre bateau. A défaut de *flettes*, les marchandises « sont déposées sur le rivage, en attendant qu'on puisse les reprendre. « Pendant qu'un bateau est ainsi arrêté dans un *pertuis* ou passage étroit, « plusieurs autres attendent souvent pour franchir ce passage. Le prix du « transport s'augmente de l'intérêt de la valeur de ces flettes et de leur « entretien, de la force nécessaire pour les remorquer, des mains-d'œuvre « de chargement et de déchargement, de l'intérêt de la valeur des mar- « chandises pendant la durée des transports, et enfin des avaries et des « déchets que produisent ces mouvements et ces déblais

. . . . . .

« Nous devons traiter à part du passage de *Marly* et du *pertuis de la* « *Morue*, à cause de la disposition toute particulière de cette portion de « Seine.

« Un *barrage* a été construit sur le bras de *Marly* pour créer une chute « à la machine, et les îles qui séparent les deux bras, sur deux lieues de « longueur, ont été réunies par des *déversoirs*; un *pertuis* ou passage étroit « en maçonnerie a été construit en tête du bras droit, pour y faire passer « en basses eaux toute la rivière.

. . . . . .

« Les bateaux, obligés de remonter un canal étroit où se précipite la Seine « tout entière, ne peuvent le faire qu'en doublant le nombre de leurs « chevaux. De cette vitesse et des remous causés dans les crues moyennes « par le déversement des crues entre les îles, résultent : la corrosion « des rives surtout du côté des îles; le décharnement des estacades des- « tinées à les garantir, dont les pieux isolés deviennent des écueils; et le « dépôt de gravier ou baissiers le long de la rive droite, lesquels repoussent « les bateaux sur ces écueils. Pour franchir ces hauts fonds et éviter ces « obstacles, il faut, dans les eaux basses, que la machine de *Marly* chôme « pour que les eaux gonflent dans le bras droit ou *rivière neuve*.

« Lorsqu'on a, avec grand' peine, remonté cette *rivière neuve*, il reste « encore *le pertuis de la Morue*. Les bateaux ont à lutter, dans un passage « qui excède peu leur largeur, contre toute la masse des eaux de la Seine, « se précipitant avec une chute de 2 pieds de hauteur; 30 chevaux sont « quelquefois nécessaires pour franchir cette cataracte, et, lorsque le « bateau y est engagé, et que les nombreux cordages qui le maintiennent « de toute part sont au plus fort de leur tension, il court le risque d'être « maîtrisé par les remous et mis en travers du pertuis, d'où il ne serait « ensuite arraché par la violence du courant que pour être lancé sur un « gravier d'une immense étendue, produit de la corrosion du fond sous le « pertuis. De nombreux désastres donnent à ce passage une funeste célé- « brité. »

Voici maintenant quelques détails extraits du journal des reconnaissances effectuées par MM. les ingénieurs Coïc et Duleau à bord du *le Bercy* et de *l'Argenteuil*, et qui sont de nature à préciser de quelle manière étaient effectués les passages des ponts et des pertuis.

REMONTE DU *BERCY* Juillet 1829. BASSES EAUX.	REMONTE DE *L'ARGENTEUIL* Avril 1830. HAUTES EAUX.
Pertuis de Martot.	
2 h. 57′ soir. — *Le chef de pertuis*, avec *onze aides*, vient remplacer l'équipage; quatre chevaux de renfort sont ajoutés aux huit chevaux de halage. Le chef et ses aides se livrent aux manœuvres les plus pénibles pour faire remonter le bateau contre un courant étroit et rapide, en l'empêchant de toucher sur les graviers. Durée du passage du pertuis : 1 h. 43′.	4 h. 44′ soir. — Le *chef du pertuis*, avec *onze aides*, vient remplacer l'équipage; cinq chevaux de renfort sont ajoutés aux huit chevaux de halage. Ce passage, dont la hauteur des eaux diminue la difficulté, exige cependant 1 h. 16′.
Pertuis de Poses.	
3 h. 30′ matin. — On commence à préparer les manœuvres pour remonter le pertuis. Seize *aides* portent un cordage de pieu en pieu sur les îles, pour empêcher le bateau d'être emporté par un courant étroit et rapide, tandis que douze chevaux, six à droite et six à gauche, le halent. Au milieu de l'île d'amont de droite, les six chevaux de droite sont envoyés à gauche dans un bateau et les douze chevaux tirent ensemble, tandis que les *aides*, assistés d'une foule d'habitants de *Poses*, empêchent les cordages de s'engager dans les pièces désassemblées d'un revêtement en charpente dégradé. 6 h. 5′. — On arrive au bras d'Anet, que huit chevaux passent à gué (avec un peu plus d'eau, il faut un bateau); ils font les plus violents efforts (un cordage a cassé) pour faire remonter le bateau contre le courant rapide qu'un gravier saillant éloigne de l'île; à 6 h. 15 ce courant est remonté; le passage du *pertuis* proprement dit est terminé. On paye le *chef de pertuis*, qui part avec ses *aides*. Durée du passage : 2 h. 45′.	6 h. 57′ matin. — Les chevaux passent l'*Andelle* dans un bac. Le chef du pertuis de *Poses* envoie quatre aides. Les chevaux sont ensuite traversés dans un bateau, du rivage à l'île de la *Mouchette*. 7 h. 50′. — Seize chevaux sont venus remplacer les huit du relai précédent; on commence le passage du pertuis. Huit chevaux sont dans l'île de la *Mouchette*, à laquelle le bateau est fortement amarré, huit autres sont sur la rive gauche, ils tirent tous à la fois. Au bout de l'île de la *Mouchette* on fait passer en bateau les huit chevaux de droite dans l'île en amont, puis du milieu de cette île sur la rive gauche, où les seize chevaux tirent ensemble. Les hautes eaux couvrent les baissiers qui obstruaient le lit aux basses eaux; mais le courant est d'une extrême rapidité, peut-être 1^{m},50 par seconde, le quai de halage de *Poses* est fortement attaqué; il y a danger imminent même pour les maisons. 9 h. 14′. — On s'arrête un peu avant d'entrer dans le bras d'*Anet*, que les hautes eaux permettent de suivre. Le passage du *pertuis* est terminé; le *chef du pertuis* remet la conduite du bateau à l'équipage. Durée du passage : 1 h. 24′.

REMONTE DU *BERCY* Juillet 1829. BASSES EAUX.	REMONTE DE L'*ARGENTEUIL* Avril 1830. HAUTES EAUX.
Pont de Vernon.	
9 h. 55′ matin. — On s'amarre sur la pointe de la troisième petite île, placée au-dessous du pont. Le *maître du pont* vient, avec trente-trois *aides*, remplacer l'équipage; dix-huit chevaux dans l'île du milieu du pont, dite *du talus*, halent le bateau, obligés de parcourir à plusieurs reprises cette île très courte. Le bateau, avant d'arriver à la pointe de cette île, touche plusieurs fois, et des deux côtés en même temps, dans le bras étroit où il est resserré. Pour passer sous l'arche marinière, six chevaux et des hommes de renfort halent sur l'île et douze chevaux sur la rive gauche. Malgré ces efforts, le bateau reste un instant sous l'arche sans pouvoir avancer; il finit cependant par surmonter le courant; il est 1 h. 5. Durée de l'opération : 3 h. 10.	7 h. 40′ matin. — On s'amarre à la pointe de la troisième petite île placée à l'aval du pont; quatre bateaux attendent, un cinquième est sous le pont. Notre bateau, à titre d'accéléré, *trémate* les quatre bateaux amarrés, ou prend son tour avant eux. Trente *aides* du *chef* de *pont* viennent à bord; le bateau monte vers l'île du *Talus*, placée au milieu du pont, halé par dix chevaux sur cette île; huit autres chevaux passent par le bac de la rive gauche à cette île (le pont étant en réparation, les chevaux n'y passent point). L'eau est à l'échelle du pont à 11 pieds 8 pouces; la navigation cesse à 14 pieds. Le bateau remonte l'arche, halé par dix-huit chevaux, douze sur l'île et six sur la rive gauche. Il est monté à 9 h. 1. Durée de l'opération : 1 h. 21.
Pertuis de la Morue. EN MAÇONNERIE	
4 h. matin. — Après de longs préparatifs, dix-huit chevaux halent notre bateau qui, maintenu de toutes parts par des câbles amarrés aux poteaux des bajoyers, se met en marche à 4 h. 56 et s'arrête amont le *pertuis* à 5 h. 18, après avoir franchi la cataracte de deux pieds que forme le courant.	1 h. 40 soir. — En aval de *la Folie*, traversée, à la voile, du bateau par-dessus la première digue transversale d'amont, alors couverte de 7 pieds d'eau, de la rive droite à la rive gauche (ce qui permet d'éviter le passage du pertuis).

La durée des voyages exécutés par MM. Coïc et Duleau, d'après les heures de départ de Rouen et d'arrivée à Saint-Denis (distance 216^k), fut de $122^h,10'$ ou $5^j,2^h,10'$, pour celui exécuté en basses eaux, et de $116^h,45'$ ou $4^j,10^h,45'$, pour celui exécuté en hautes eaux.

Mais, si l'on ne tient compte que des heures de marche et de manœuvre :

le premier voyage n'a duré que. . . . $108^h,35'$ ou $4^j,12^h,35'$
et le second que. . . . . $77^h,18'$ ou 3^j, $5^h,18'$

d'où résulte un écart de. . . . . $31^h,17'$

en faveur du voyage en hautes eaux, écart attribuable à une notable diminution dans le nombre des traversées des chevaux de halage d'une rive à l'autre, et aux moindres difficultés rencontrées au passage des ponts et pertuis.

Voici du reste quelques chiffres de nature à permettre de saisir l'importance qu'ont eue ces différentes causes de retard, d'après les observations faites (tableau extrait du mémoire de MM. Coïc et Duleau).

	TEMPS EMPLOYÉ AUX DIVERSES MANŒUVRES PENDANT LES DEUX VOYAGES FAITS EN BASSES ET HAUTES EAUX, DE ROUEN A SAINT-DENIS					OBSERVATIONS.
	à faire passer les chevaux d'une rive à l'autre.	à remonter sous les ponts.	à franchir les pertuis trémates ou baissiers.	à parcourir la distance totale de 54 lieues de 4 kil.	TOTAL.	
	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	
Premier voyage : Juillet 1829, Basses eaux.	15 13	15 37	11 12	66 23	108 35	(1) Temps gagné à cause du vent qui favorisait pendant le deuxième voyage.
Deuxième voyage : Avril 1830, Hautes eaux.	2 02	7 04	4 45	63 27	77 18	
Temps gagné pendant le second voyage. . .	13 11	8 33	6 27	3 06 (1)	31 17	

NOTA. — Le temps employé à parcourir 54 lieues est de 66 h. 23', ou 1 h. 14' par lieue au premier voyage, et de 63 h. 27', ou 1 h. 11' par lieue au deuxième voyage. On met moyennement sur les canaux 1 h. 20 par lieue de 4 kilomètres, à cause de la résistance qu'oppose le rétrécissement de la section transversale de l'eau.

Ce coup d'œil jeté sur les principaux projets mis en avant, pendant le premier tiers de ce siècle, pour améliorer la navigation de la basse Seine, et sur la situation de cette navigation en 1830, j'arrive maintenant à la période la plus intéressante, c'est-à-dire à celle des travaux.

Le Conseil général des Ponts et chaussées ayant été saisi, en 1835, de divers projets relatifs à l'amélioration de la navigation de la Seine au moyen de barrages, émit l'avis qu'il conviendrait, avant de donner suite à

l'étude des dits projets, de soumettre à l'examen des Chambres de commerce intéressées deux séries de questions concernant cette navigation.

« 1re Série. — 1° Convient-il, en améliorant la navigation de la Seine, « de chercher à faire remonter jusqu'à Paris, les bateaux à vapeur de « commerce qui naviguent en mer?

« 2° Quelle profondeur de mouillage est nécessaire à ces bateaux?

« 3° Quelle longueur faudra-t-il donner aux écluses pour qu'ils puissent « y passer?

« 2e Série. — 1° En ne considérant que les bateaux appartenant à la « navigation fluviale qui remontent de Rouen et de l'embouchure de l'Oise « à Paris, quelle largeur et quelle longueur faut-il donner aux écluses?

« 2° Ne satisferait-on pas pour longtemps à tous les besoins, en ce qui « concerne la largeur, en l'établissant telle que deux bateaux des canaux « du nord, toujours plus larges ensemble que les plus forts bateaux de la « Seine, puissent passer simultanément dans les écluses, en n'exigeant « qu'une seule éclusée?

« 3° En ce qui concerne leur longueur, ne suffit-il pas qu'elles puissent « recevoir les grands bateaux de Seine munis de leur gouvernail, sans « qu'il soit nécessaire d'avoir égard à quelques bateaux de dimensions « exceptionnelles que l'on pourra toujours faire passer dans ces écluses en « démontant leur gouvernail?

« 4° Les Chambres de commerce seraient d'ailleurs prévenues que « l'administration n'a pas perdu de vue l'extension possible de la circula « tion sur la Seine, et que, le cas échéant, une seconde écluse pourrait être « ajoutée aux barrages? »

Non seulement l'Administration fit faire des enquêtes générales sur ces questions, mais ouvrit des enquêtes spéciales dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, sur un barrage fixe à établir à Andrésy, d'après le projet de M. l'ingénieur en chef Brière de Mondétour, et sur un barrage mobile à établir un peu au-dessus du pont de Poissy, projeté par M. l'inspecteur général Bérigny, d'après son système de pertuis avec poutrelles à échappement.

De plus, en présence du succès obtenu par M. l'ingénieur en chef Poirée, au barrage de Basseville-sur-l'Yonne, en 1834, avec l'emploi de son système de barrage formé de fermettes et d'aiguilles, M. Legrand, Directeur général des ponts et chaussées, chargea cet ingénieur d'étudier l'application de ce système de barrage mobile à l'amélioration de la Seine, en lui signalant : « *que le commerce ne demandait qu'un perfectionnement qui ne gênât* « *point ses habitudes actuelles et qu'il fallait rendre la navigation meil-* « *leure dans ses basses eaux, tout en conservant ce qu'elle offrait d'avan-* « *tageux quand elles sont fortes.* »

Les résultats des enquêtes et les avis des Chambres de commerce furent absolument défavorables à l'ouverture de la Seine à la navigation maritime

jusqu'à Paris, ainsi qu'à l'emploi de barrages, soit fixes, soit mobiles, pour l'amélioration de la navigabilité de la rivière[1].

A propos des barrages, la Chambre de commerce d'Elbeuf termina même son avis par la phrase suivante, caractéristique des idées alors en cours : « Nous savons que ces travaux (dragages, épis, etc.) séduisent peu « l'imagination des ingénieurs; mais si la science ne trouve point là l'occa- « sion d'utiliser ses merveilles, le pays y trouvera utilité et profit, et, entre « ces divers intérêts, le choix du gouvernement ne saurait être douteux. »

Les études demandées à M. Poirée, exécutées en novembre 1835, furent remises par lui à M. Legrand en février 1836.

D'après le rapport de ce projet, daté du 20 février 1836, cet ingénieur proposait de contourner les hauts fonds et les passages difficiles des pertuis et des ponts, par des dérivations éclusées de 30 mètres de largeur minimum au plafond, et d'assurer, dans ces dérivations et sur les hauts fonds de la rivière, un mouillage de 2 mètres, en ayant recours à des barrages mobiles à fermettes et aiguilles placés en travers du bras principal en tête des dérivations.

Ces barrages, au nombre de treize, devaient être constitués au moyen d'épis partant des rives et laissant, entre leurs extrémités, une passe libre de 20 à 30 mètres de largeur, praticable aux bateaux descendants.

Quant aux écluses, elles devaient avoir 70 mètres de longueur et 12 mètres de largeur pour être à même de contenir un remorqueur avec son chaland, ou un grand bateau normand avec ses batelets, ou bien encore quatre péniches flamandes.

Sur l'avis du Conseil général des Ponts et chaussées du 16 décembre 1836, l'Administration résolut, avant de s'engager dans l'ensemble des travaux proposés par M. Poirée, de faire un essai de son système de barrage mobile avec écluses en dérivation, de manière à supprimer le pertuis de la Morue.

Une loi de 1837 autorisa ce travail estimé à 1 million de francs.

Commencés en 1838, ces ouvrages furent livrés en juillet 1840 et procurèrent une telle amélioration pour la navigation, que l'Administration prit le parti de poursuivre, sans retard, la canalisation de la basse Seine au moyen de barrages éclusés.

Les enquêtes ouvertes à ce sujet, en 1841, ayant été favorables à ce projet, l'Administration constitua, au commencement de l'année 1843, pour les études définitives, un service à la tête duquel furent placés MM. les ingénieurs en chef Michal et Méry.

Un premier projet étudié en vue d'un mouillage de 2 mètres et s'élevant à la somme de 18500000 francs, fut présenté en 1843; mais en pré-

1. Des enquêtes avaient été ouvertes dans les départements de la Seine, de Seine-et-Oise, de l'Eure et de la Seine-Inférieure.

Les chambres de commerce consultées furent celles de Paris, d'Elbeuf, de Rouen et du Havre.

sence de l'importance de cette dépense, l'administration fut d'avis qu'il y avait lieu de se contenter d'un tirant d'eau de $1^m,60$ seulement.

Le projet, remanié dans ce sens, conduisit à une évaluation s'élevant à 11 000 000 de francs.

Une loi du 31 mai 1846 autorisa ces travaux et en fixa la dépense à 10 300 000 francs.

Ils s'étendaient du pont de Grenelle à Rouen et devaient comprendre, en dehors de l'amélioration des chemins de halage; de l'agrandissement des arches marinières des ponts d'Asnières, Poissy, Maisons, Meulan et Pont-de-l'Arche; de l'exécution de dragages et de défense de berges, etc..., l'établissement de six dérivations y compris celle de Marly, avec barrages et écluses destinés à produire, concurremment avec les dragages, le tirant d'eau de $1^m,60$, tout en amortissant la pente des rapides.

Les nouveaux barrages éclusés étaient prévus à Épinay, à Denouval, à Meulan, à N.-D. de la Garenne et à Poses, et étaient du type à fermettes et aiguilles.

En ce qui concerne les dimensions des principaux ouvrages, elles étaient ainsi fixées :

Largeur des écluses entre les bajoyers des têtes, 12 mètres; longueur de busc à busc, 120 mètres;

Longueur totale des barrages en tête des dérivations et de ceux accolés aux écluses, 185 mètres;

Relèvement du plan d'eau à produire par les barrages au-dessus de l'étiage, de $1^m,50$ à $1^m,60$;

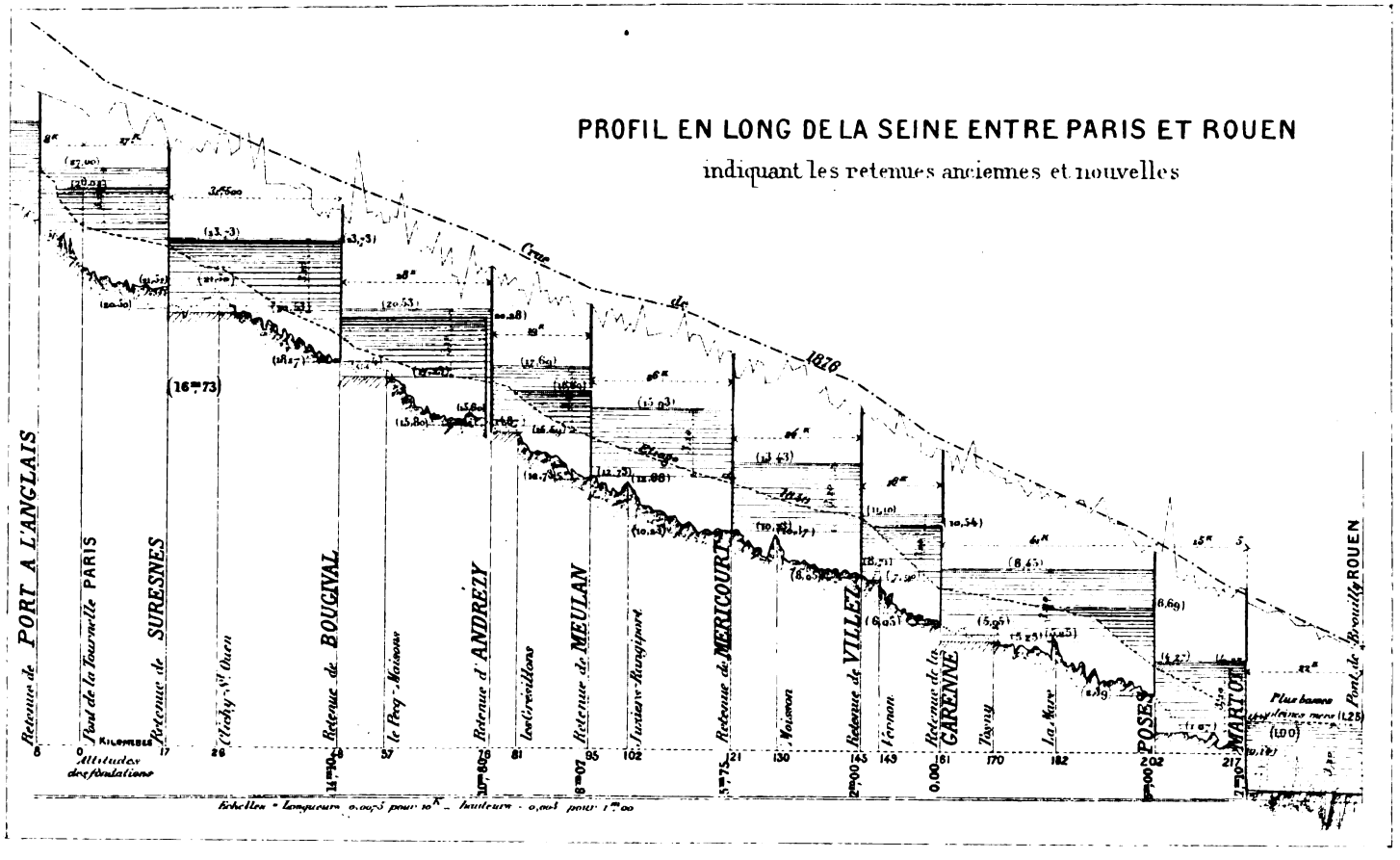
Hauteur, au-dessus de l'étiage, du radier des barrages; 1 mètre à $1^m,10$ dans la passe navigable de 36 mètres à ménager du côté du halage, et $1^m,40$ à $1^m,50$ pour le surplus.

En 1857 les travaux autorisés par la loi du 31 mai 1846 étaient achevés, à l'exception de la dérivation de Saint-Ouen-Épinay, et paraissaient répondre pleinement au programme que l'on s'était posé, lorsque les sécheresses extraordinaires de 1857 et 1858 vinrent créer un état de choses tout à fait imprévu.

A peine, en effet, les travaux de la dernière dérivation (celle de Meulan) sont-ils terminés, que la Seine commence à baisser et tombe à un niveau qui n'avait pas été atteint depuis plus d'un demi-siècle, soit à $0^m,70$ au-dessous de l'étiage admis dans les projets.

Les buscs des écluses étaient devenus de véritables écueils et, pendant les mois d'août, septembre et octobre 1858, les hauteurs d'eau sur les buscs aval des écluses d'Andrésy, Meulan, la Garenne, n'atteignirent que $1^m,18$, $1^m,37$ et $1^m,41$.

A Poses, l'état de choses était encore plus alarmant. Pendant ce même étiage, le tirant d'eau sur le busc d'aval de l'écluse s'abaissa à $0^m,90$; certains bateaux ne pouvaient plus y passer, même à vide; enfin le tirant d'eau sur les hauts fonds descendit à $0^m,60$.


PROFIL EN LONG DE LA SEINE ENTRE PARIS ET ROUEN
indiquant les retenues anciennes et nouvelles
Crue de 1876
Retenue de PORT A L'ANGLAIS
Pont de la Tournelle PARIS
Retenue de SURESNES
Clichy-St Ouen
Retenue de BOUGIVAL
le Pecq-Maisons
Retenue d'ANDREZY
les Grésillons
Retenue de MEULAN
Juziers-Rangiport
Retenue de MERICOURT
Moisson
Retenue de VILLEZ
Vernon
Retenue de la GARENNE
Tosny
La Mare
POSES
MARTOT
Pont de Brouilly ROUEN
Plus basses
Altitudes des fondations
Echelles = Longueurs 0,0075 pour 10K – hauteurs 0,005 pour 1m00

Cette circonstance malheureuse mit en évidence une des erreurs du projet exécuté : à savoir une exagération dans l'évaluation de l'influence, sur le plan d'eau des retenues, du remous produit par les barrages, et, par là même, l'inconvénient d'admettre de trop longs biefs sujets, en basses eaux, à ne plus se trouver sous l'influence de ces ouvrages.

Pour remédier à cette situation, divers projets furent mis en avant par M. l'ingénieur en chef Belgrand ; notamment la construction d'un arrière-sas à l'aval de chacune des écluses et le dragage des hauts fonds, de manière à réaliser un mouillage de 2 mètres. Mais, en présence des dépenses à faire, l'Administration se contenta de prescrire l'exhaussement des barrages d'Andrésy et de Bezons, et l'établissement de nouvelles retenues à Martot et à Suresnes.

Les travaux de la première retenue furent autorisés par décret du 29 juillet 1861; et ceux de la seconde par décret du 11 décembre 1864.

Les travaux du barrage éclusé de Saint-Aubin-Martot furent terminés en 1866, et ceux du barrage éclusé de Suresnes en 1868.

Pendant que ces travaux se poursuivaient, l'Administration résolut de compléter l'amélioration de la Seine entre Paris et Rouen, de manière à obtenir un mouillage de 2 mètres.

Par décision ministérielle du 1er février 1862, les ingénieurs furent, en conséquence, invités à dresser un avant-projet pour atteindre ce but.

Cet avant-projet, présenté en 1864, par M. l'ingénieur en chef Michel-Beaulieu, comprenait des dragages, des constructions d'arrières-sas à plusieurs écluses, des réfections de barrages, enfin la construction d'un nouveau barrage éclusé à Freneuse, entre Meulan et N.-D. de la Garenne.

Modifié dans le sens indiqué par les enquêtes auxquelles il fut soumis dans les départements de la Seine, de Seine-et-Oise, de l'Eure et de la Seine-Inférieure, cet avant-projet fut approuvé et déclaré d'utilité publique par décret du 11 août 1866. Il comportait une prévision de dépense de 6 500 000 francs.

En exécution, le barrage éclusé de Freneuse fut reporté à Port-Villez.

L'écluse a été livrée à la navigation en 1873 et le barrage en 1880.

Pendant qu'il s'occupait de la construction de cet ouvrage établi d'après un nouveau système imaginé par lui (Hausses mises en mouvement par des pontons)[1], M. l'ingénieur en chef Krantz songea à reprendre la proposition présentée antérieurement par M. l'ingénieur en chef Belgrand, pour fournir à la Seine un mouillage de 3 mètres; proposition du reste déjà prise en considération par décision ministérielle du 23 juin 1855.

Les nouvelles études de cet ingénieur aboutirent à la présentation, le 20 novembre 1874, d'un projet qui, remanié par son successeur, M. l'ingénieur en chef de Lagrené, servit de base à la loi du 6 avril 1878, promulguée à la suite d'une enquête ouverte en 1876, et qui portait

1. En vertu des décisions ministérielles du 14 juillet 1875 et du 14 janvier 1879, à ce type de barrage a été substitué celui à fermettes et rideaux articulés.

principalement sur le choix à faire entre le mouillage de $2^m,20$ et celui de $3^m,20$.

D'après cette loi, la Seine, entre Paris et Rouen, devait être dotée d'un mouillage de $3^m,20$, correspondant à un tirant d'eau de 3 mètres pour les bateaux : en utilisant partie des barrages et écluses existants, en construisant plusieurs nouveaux barrages éclusés, enfin en écrêtant un certain nombre de hauts fonds.

La loi du 21 juillet 1881 prescrivit de réaliser le mouillage de $3^m,20$, non seulement jusqu'à l'écluse de la Monnaie, mais dans toute la traversée de Paris.

Le nombre de biefs à créer ou à conserver, d'après ces lois, était de onze. En exécution, et, par suite du nouveau type de barrage appliqué à Poses, le nombre des biefs a pu être réduit à dix par la suppression du barrage éclusé prévu à Andé.

Ces biefs présentent les longueurs et chutes hydrostatiques suivantes, sans tenir compte d'aucun remous.

DÉSIGNATION DES BIEFS.	LONGUEUR DES BIEFS.	CHUTES HYDROSTATIQUES.
	kilom.	m. c.
Suresnes	25	3 27
Bougival	31	3 20
Andrésy	28	2 84
Meulan	19	1 76
Méricourt	26	2 50
Port-Villez	24	2 33
Notre-Dame de la Garenne	16	2 65
Amfreville (Poses)	41	4 18
Saint-Aubin (Martot)	15	2 77
Rouen	23	»

Les premiers projets relatifs au mouillage de $3^m,20$ ont été approuvés par l'administration en 1878, et l'ensemble de ces ouvrages a pu être livré à la navigation le 15 septembre 1886; sauf toutefois la grande écluse de Port-Villez, commencée seulement en 1888 et qui sera achevée en 1890[1].

Quant aux dispositions de ces ouvrages, voici quelques renseignements à leur sujet.

1. Les ingénieurs ayant pris part à la rédaction des projets définitifs et à l'exécution des travaux relatifs au mouillage de $3^m,20$ sont, en suivant l'ordre d'entrée dans le service :

Ingénieurs en chef : MM. de Lagrené, Boulé et Caméré.

Ingénieurs ordinaires : MM. Cheysson, Caméré, Nicou, de Préaudeau, Lechalas, Chabert, Toulon, Luneau, Garreta, Clerc, Jozan et Boutteville.

Type des ouvrages adoptés pour le mouillage de $3^m,20$. — D'une manière générale, les ouvrages constituant chaque retenue se composent, à l'heure actuelle, d'un ou de plusieurs barrages desservis par une grande et une petite écluse, sans compter celles qui, parmi les anciennes, n'ont pu être utilisées pour le mouillage de $3^m,20$.

Écluses. — La grande écluse, destinée plus spécialement au service des convois de bateaux, peut donner passage, en une seule fois, à six bateaux de 45 mètres de longueur et de 8 mètres de largeur, ou bien à neuf péniches de $38^m,50$ de longueur sur 5 mètres de largeur.

Quant à la petite écluse accolée à la première et destinée au passage des bateaux isolés, elle peut livrer passage à des bateaux de 50 mètres de longueur et 8 mètres de largeur.

Voici les principales dimensions de ces écluses :

PARTIES CONSIDÉRÉES.	GRANDE ÉCLUSE.	PETITE ÉCLUSE.
	m. c.	m. c.
Longueur entre les parements des têtes	180 00	78 00
Longueur entre les pointes des buscs	160 00	60 00
Longueur utile des sas	141 00	41 60
Largeur d'entrée des têtes	12 00	8 20
Largeur entre les poteaux de garde	11 94	8 14
Largeur du sas au plafond	17 00	8 70

Ce type d'écluses accolées a été appliqué : à Carrières-sous-Poissy (en dérivation), à Méricourt (en rivière), à Notre-Dame de la Garenne (en dérivation), à Poses (dans le bras d'Amfreville), enfin à Martot (en dérivation). On a toutefois conservé les anciennes écluses de Denouval, Notre-Dame de la Garenne[1], Poses et Martot qui, en cas de besoin, peuvent être utilisées pour le passage de bateaux ayant un tirant d'eau de 2 mètres seulement.

Les dimensions de ces anciennes écluses, établies pour la réalisation du tirant d'eau de 2 mètres, sont les suivantes :

	mèt. c.
Longueur entre les parements des têtes	140 00
Longueur entre les pointes des buscs	120 00
Longueur utile du sas	120 00
Largeur d'entrée des têtes	12 00
Largeur entre les poteaux de garde	11 80
Largeur du sas	12 00

1. L'écluse de Notre-Dame de la Garenne ne saurait toutefois servir sans de grandes réparations.

Aux autres retenues, certaines nécessités ont conduit à apporter à ces types quelques modifications.

A Suresnes, la petite écluse a été placée en prolongement de l'ancienne, pour laquelle elle forme un arrière-sas avec un mur de chute de 1 mètre; sa largeur est, par suite, de 12 mètres au lieu de $8^m,20$. La longueur de la grande est de $160^m,50$, avec un sas d'une longueur utile de 141 mètres.

A Bougival, la convenance d'assurer le passage, en une seule fois, des longs convois du touage de Paris à l'Oise, et de répondre au double trafic des lignes navigables de Paris à Rouen et de la Villette à la frontière belge, a conduit à donner à la grande écluse une longueur utile de sas de 200 mètres. Dans ces conditions, elle peut contenir quinze péniches de $38^m,50$ sur 5 mètres, et même dix-huit péniches un peu moins longues.

La petite écluse pour le mouillage de $3^m,20$ est conforme au type nouveau, et l'ancienne écluse a été conservée en service après réparation; les péniches du nord pouvant y trouver un mouillage de $2^m,20$.

Les manœuvres des nouvelles écluses de Bougival sont faites mécaniquement au moyen de l'eau comprimée fournie par une usine hydraulique installée au barrage de la machine de Marly.

A Meulan, on n'a construit que la grande écluse dans une dérivation, et l'on a conservé l'ancienne en service, pour tenir lieu de petite écluse, l'altitude de ses buscs répondant aux besoins du mouillage de $3^m,20$. Ses dimensions sont celles du type adopté pour le tirant d'eau de 2 mètres.

A Port-Villez, et par la même raison, on a conservé, à titre de petite écluse, celle établie en vertu du décret du 11 août 1866.

Les dimensions de cette écluse partagée en deux sas par une paire de portes intermédiaires, sont les suivantes :

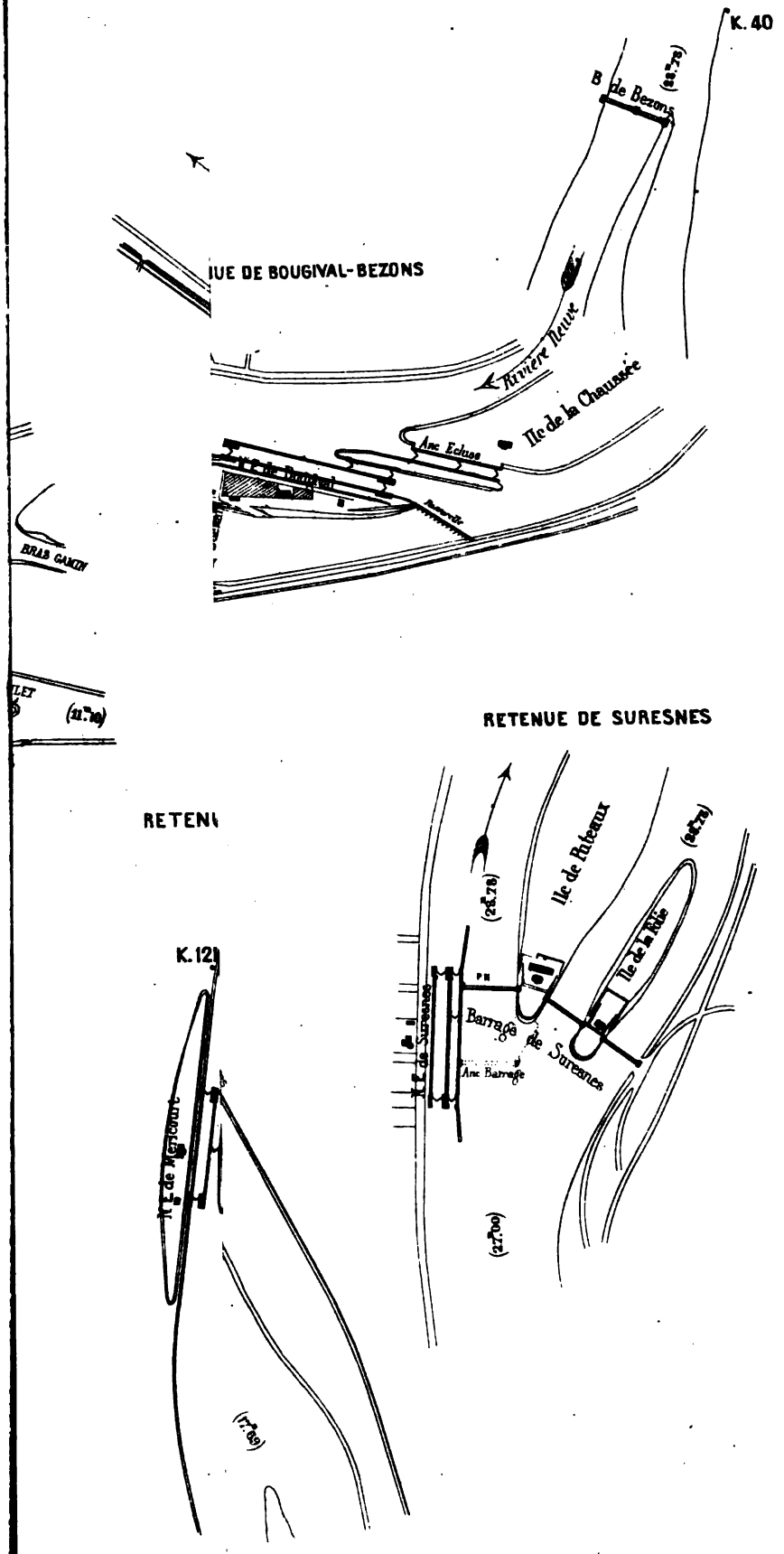
	mèt.	c.
Longueur entre les parements des têtes	138	25
Longueur entre les pointes des buscs (sas aval)	55	50
Longueur entre les pointes des buscs (sas amont)	64	50
Longueur utile du sas total	120	00
Largeur d'entrée des têtes	12	00
Largeur entre les poteaux de garde	11	88
Largeur du sas au plafond	12	00

En ce qui concerne la grande écluse qui ne sera terminée qu'en 1890, par suite de circonstances spéciales de fondation, sa longueur, entre les parements des murs de têtes, a été portée à 187 mètres, ce qui correspond à une longueur utile du sas de 148 mètres.

Barrages. — Les barrages actuellement en service sur la basse Seine sont des types suivants :

1° Barrages fixes ;

2° Barrages à hausses basculant sur des chevalets, avec passerelle de manœuvre supportée par des fermettes;


K. 40
B de Bezons
IUE DE BOUGIVAL-BEZONS
Rivière Neuve
Ile de la Chaussée
Anc Ecluse
BRAS GAMIN
RETENUE DE SURESNES
RETENU
Ile de Puteaux
Ile de la Robe
Barrage de Suresnes
Anc Barrage
K. 12
Ile de Mericourt

3° Barrages à fermettes avec vannage constitué par des aiguilles (système Poirée);

4° Barrages à fermettes avec vannes de moulin superposées (système Boulé);

5° Barrages à fermettes avec rideaux articulés (système Caméré);

6° Barrages à ponts supérieurs avec cadres pendants relevables et fermés par un vannage constitué par des rideaux articulés (système Caméré).

Les barrages fixes sont placés à Bezons, Denouval et Saint-Aubin; ils proviennent des anciens travaux et ne constituent que des déversoirs de superficie.

Les barrages à hausses basculantes sont ceux d'Andrésy et de la Blancheterre près Martot; le premier a été exécuté pour la réalisation du mouillage de $3^m,20$, et le deuxième, du mouillage de $2^m,00$. Ce sont, en fait, des déversoirs à grand débit et d'une manœuvre facile et rapide.

Les barrages à fermettes et aiguilles sont situés : à Bezons, Marly, Andrésy, Denouval, Notre-Dame de la Garenne, Amfreville, St-Aubin et Martot.

Ce sont des barrages qui avaient été exécutés pour les mouillages de $1^m,60$ et de $2^m,00$, et que l'on a pu utiliser pour celui de $3^m,20$, en surélevant de $0^m,25$ les fermettes du barrage d'Andrésy, et de $0^m,45$ celles du barrage de Notre-Dame de la Garenne.

En laissant de côté ces différents types de barrages anciens, les nouveaux, appliqués sur la basse Seine pour la réalisation du mouillage de $3^m,20$, restent donc au nombre de trois.

L'application du type formé de fermettes avec vannes de moulin superposées a été autorisée pour la passe-déversoir du barrage de Suresnes et sur les fermettes fixes du barrage surélevé de Marly.

Celui formé de fermettes avec rideaux articulés, après avoir été essayé à Villez, a été prescrit par l'Administration pour les passes navigables et surélevées du barrage de Suresnes[1], et pour les passes surélevées des barrages de Meulan-Mézy et de Méricourt.

Enfin, le type de barrage à pont supérieur avec cadres pendants relevables et rideaux articulés, a été adopté pour les barrages de Poses et de Port-Mort, et les passes navigables des barrages de Meulan et de Méricourt.

Par l'emploi de ces différents barrages, on a pu assurer à la Seine le mouillage promis de $3^m,20$.

Ce mouillage donnera-t-il longtemps satisfaction aux besoins de la navigation? C'est ce dont il est permis de douter d'après la marche suivie par cette dernière, laquelle a conduit le gouvernement, depuis cinquante ans, à doter successivement la basse Seine d'un mouillage de $1^m,60$, de $2^m,00$ puis de $3^m,20$.

Il faut donc prévoir que, dans un délai qui ne sera peut-être pas bien long, on devra songer à un surhaussement notable des nouveaux barrages; et c'est une éventualité dont je m'étais préoccupé dans l'établisse-

1. Décision ministérielle du 29 août 1882.

ment du type de barrage à pont supérieur appliqué pour la première fois à Poses, lequel peut se prêter, avec la plus grande facilité et une faible dépense, à une pareille modification.

Progrès réalisés de 1789 à 1889 dans le régime de la basse Seine ainsi qu'au point de vue commercial.

Il me reste, pour compléter cet historique des travaux de la basse Seine, à vous indiquer quels sont les progrès réalisés par la navigation depuis le commencement de ce siècle, au point de vue : du tirant d'eau disponible, du tonnage et de la vitesse des bateaux, du mouvement commercial, enfin du prix du fret.

Je me renfermerai à ce sujet, ainsi du reste que je l'ai fait pour ce qui précède, dans ce qui a plus spécialement trait à la navigation entre Paris et Rouen ; celle qui emprunte la Seine entre Paris et l'Oise, en provenance ou à destination du nord, ne rentrant pas dans mon cadre.

Augmentation du tirant d'eau. — D'après les relevés faits aux échelles du pont de la Tournelle à Paris, de 1818 à 1825, soit pendant huit ans, on constate que le niveau de la rivière est resté en moyenne :

11 jours à l'étiage ou au-dessous.
116 jours entre l'étiage et $0^m,50$.
78 jours entre $0^m,50$ et $1^m,00$.
93 jours entre $1^m,00$ et $2^m,00$.
40 jours entre $2^m,00$ et $3^m,00$.
27 jours au-dessus de $3^m,00$.

Or, comme en étiage, la hauteur d'eau, dans le pertuis de Poses notamment, descendait à $0^m,50$, il en résulte qu'à cette époque la navigation, pendant cent vingt-sept jours, ou quatre mois, devait se contenter d'un mouillage inférieur à $1^m,50$; et que les mariniers ne pouvaient utiliser le matériel construit pour un tirant d'eau de $1^m,80$ à $2^m,00$ qu'à la condition de réduire les chargements en conséquence.

Si l'on passe, maintenant, à une période postérieure à l'achèvement des travaux exécutés pour obtenir d'abord un mouillage de $1^m,60$ puis de $2^m,00$, et que l'on consulte les relevés faits de 1875 à 1879, l'on trouve qu'en moyenne, pendant ces années, le mouillage est resté :

8 jours 6 au-dessous de $1^m,00$.
47 jours 2 entre $1^m,00$ et $1^m,40$.
133 jours 2 entre $1^m,40$ et $2^m,00$.
47 jours entre $2^m,00$ et $2^m,50$.
129 jours 2 au-dessus de $2^m,50$.

La durée de la navigation avec un mouillage inférieur à $1^m,40$ était encore de cinquante-cinq jours, soit près de deux mois, ce qui constituait

une amélioration sur la situation antérieure, mais ne répondait pas au but poursuivi; puisque la navigation, avec $2^m,00$ de mouillage, n'était possible que pendant 176 jours, soit à peine pendant six mois.

Il convient toutefois de signaler qu'à partir de 1878, et jusqu'au moment de la mise en service des ouvrages du mouillage de $3^m,20$, cette situation s'est progressivement améliorée; et qu'en particulier dès 1878 la Seine, entre Paris et l'Oise, présentait déjà un mouillage constant de 2 mètres.

Actuellement, la Seine, entre Paris et Rouen, est définitivement dotée du mouillage de $3^m,20$; et les travaux à faire pour son maintien ne sont plus que des travaux d'entretien et plus spécialement de dragages à exécuter dans le chenal à la suite des crues, et dont l'importance ne paraît pas jusqu'ici devoir être bien grande.

Augmentation du tonnage des bateaux. — Jusqu'en 1814, les types de bateaux circulant sur la Seine ne varièrent guère; mais, à partir de cette époque, des bateaux de toutes espèces: marnois, languettes, lavandières, plates, margotats, bélandres, en provenance de la haute Seine, de l'Yonne, de l'Oise et du canal de Saint-Quentin, descendirent sur Rouen pour faire concurrence aux besognes, bateaux normands, etc., etc.

Les grandes besognes continuaient à avoir comme dimensions :

Longueur	de 50 à 64 mètres.
Largeur	de 7 à 9 mètres.
Tirant d'eau à pleine charge	de $1^m,80$ à $2^m,10$.

Ces bateaux pouvaient porter de 600 à 700 tonnes; mais ils étaient, comme autrefois, en très petit nombre et ne pouvaient naviguer que pendant les hautes eaux.

Les types de bateaux employés couramment et comprenant les petites besognes, bateaux normands, bélandres, etc., présentaient des dimensions beaucoup plus réduites, à savoir :

Longueur	de 32^m à $48^m,00$.
Largeur.	de $4^m,66$ à $7^m,50$.
Tirant d'eau à pleine charge.	de $1^m,20$ à $1^m,80$.

Ils pouvaient porter de 150 à 500 tonnes; mais en réalité, pendant les basses eaux, leur chargement était loin d'atteindre ces chiffres.

Les améliorations apportées à la rivière, par les travaux du mouillage de $1^m,60$, puis de $2^m,00$, n'entraînèrent pas de grandes modifications dans les dimensions de ce matériel, qui put seulement être mieux utilisé au point de vue du chargement.

Depuis l'exécution des travaux du mouillage de $3^m,20$, la marine, tout en continuant à employer ses anciens types de bateaux, cherche à augmenter les dimensions de ses chalands, dont les premiers datent seule-

ment de 1816. C'est ainsi que des chalands du port de 920 à 1000 tonnes ont été mis en service.

Leurs dimensions sont les suivantes :

Longueur	de 54m,92 à 62m,70.
Largeur.	de 8m,05 à 8m,10.
Tirant d'eau à pleine charge.	de 2m,54 à 3m,00.

A côté de ces bateaux qui, avant 1844, étaient exclusivement halés par chevaux, et qui, depuis lors, ont eu recours à la traction par remorqueurs, toueurs et propulseurs, il convient de dire un mot des bateaux porteurs à vapeur.

C'est en 1822 que l'on a commencé à se servir de bateaux porteurs à vapeur, et si, au début, leur trafic ne paraît pas avoir eu une grande importance, il n'en est plus de même aujourd'hui, où ils absorbent 18,5 pour 100 du trafic entre Paris et Rouen.

Actuellement, ces porteurs, dont le chargement maximum varie entre 130 et 280 tonnes, ont comme dimensions :

Longueur	de 34m,40 à 40m,00.
Largeur.	de 4m,35 à 6m,10.
Tirant d'eau à pleine charge	de 1m,55 à 2m,40.

Enfin, si, depuis 1886, il existe un certain nombre de vapeurs faisant un service régulier entre l'Angleterre et Paris, et dont le port varie entre 173 et 450 tonnes, la navigation de cabotage sur la basse Seine n'a pris jusqu'ici aucun développement.

En sera-t-il de même dans l'avenir? C'est ce qu'il est difficile de préjuger, étant donné la faiblesse, pour des bateaux marins, d'un tirant d'eau de 3 mètres seulement; mais ce dont il ne faut pas désespérer en présence des récents voyages entre le port de Pasajes (Espagne) et Paris, du *Parisien* et du *Bercy*, de la Compagnie parisienne de navigation à vapeur.

Ces navires, construits à Nantes par la Société des ateliers et chantiers de la Loire, sont en acier; leur longueur de tête en tête est de 58m,20 et de 55m,44 entre perpendiculaires, leur largeur de 8m,50, et leur creux de 4m,73. Sans dépasser un tirant d'eau de 3m,00 en Seine, ils portent de 500 à 600 tonnes de marchandises.

Augmentation des vitesses de marche. — La vitesse de marche des bateaux sur la Seine, dans la première partie de ce siècle, est difficile à évaluer, et l'on n'a, à cet égard, que des renseignements très discordants; ce qui tient aux écarts provoqués, dans la durée des voyages, par les conditions de la navigation en basses eaux et en hautes eaux.

Voici cependant quelques exemples :

En 1825 on estimait à quinze jours pour la remonte et à neuf jours

pour la descente, le temps nécessaire aux bateaux halés pour effectuer leur voyage entre Paris et Rouen, sans compter un séjour à quai de dix à quinze jours pour déchargement.

En 1830, d'après les données des voyages de reconnaissances de MM. les ingénieurs Coïc et Duleau, la remonte de Rouen à Paris, à l'aide de chevaux de halage et en marche accélérée, exigeait en basses eaux cinq jours deux heures, et en hautes eaux quatre jours vingt heures.

En 1867, après l'exécution des travaux du tirant d'eau de $1^m,60$ et de 2 mètres, la durée du voyage à la remonte n'était plus que de :

7 jours pour les bateaux halés.
5 jours 3/4 pour les convois toués.
5 jours 1/3 pour les convois remorqués.
50 heures pour les porteurs à vapeur.

En 1878, au commencement de l'exécution des travaux du tirant d'eau de 3 mètres, cette durée était de :

5 jours 1/2 pour les convois toués.
4 jours pour les convois remorqués.
45 heures pour les porteurs à vapeur.

Enfin, en 1887, après l'exécution des travaux du tirant d'eau de 3 mètres, elle n'était plus que de :

3 jours 1/3 pour les convois toués ou remorqués.
28 à 30 heures pour les porteurs à vapeur.

Augmentation du mouvement commercial. — En se basant sur quelques données statistiques relatives aux années comprises entre 1818 et 1826, on peut estimer que le courant des marchandises entre Rouen et Paris, y compris celui en provenance ou à destination de l'Oise, s'élevait en moyenne, par an, à. . . . . 354 312 tonnes.

Pendant les dix années qui précédèrent l'achèvement des ouvrages du tirant d'eau de $1^m,60$, ce tonnage passa :

de (1847)	577 503 tonnes
à (1857)	710 291 —

correspondant à un accroissement annuel moyen de. . . 19,279 tonnes.

De 1857 à 1868, date de l'achèvement des travaux complémentaires du tirant d'eau de $1^m,60$, le tonnage s'est élevé :

de (1857)..	710 291 tonnes
à (1868).	815 384 —

représentant un accroissement annuel moyen de. . . . . 9553 tonnes.

De 1868 à 1880, fin de l'achèvement des travaux correspondant au programme du tirant d'eau de 2 mètres, le tonnage s'est élevé :

de (1868)	815 384	tonnes
à (1880)	907 100	—

représentant un accroissement moyen annuel de . . . . . 7643 tonnes.

De 1880 à 1886, et au fur et à mesure de la mise en service des ouvrages du mouillage de $3^m,20$, le tonnage s'est élevé :

de (1880).	907 100	tonnes
à (1886).	1 346 593	—

représentant un accroissement moyen annuel de. . . . . 87 899 tonnes.

Enfin, depuis la mise en service de ces ouvrages jusqu'au commencement de 1889, le tonnage s'est élevé :

de (1886)	1 346 593	tonnes
à (1888)	1 650 147	—

représentant un accroissement moyen annuel de . . . . 151 777 tonnes.

Diminution de la valeur du fret. — Malgré le manque de précision que présentent forcément les données relatives au fret, dont la fixation n'est pas réglée par des tarifs officiels, les quelques chiffres que j'ai pu réunir ne manquent pas d'un certain intérêt, en ce sens qu'ils permettent de juger de la diminution que les prix ont subie, au fur et à mesure de l'amélioration de la navigabilité de la basse Seine.

En 1815, le fret moyen, à la remonte, était de 16 francs la tonne.
En 1817, par suite des transports effectués pour l'importation des blés nécessités par l'insuffisance de la récolte de 1816, ce prix monte à 30 et 34 francs.

		fr.	c.
En 1824 il redescend à		15	20
En 1826, il est	en hautes eaux de.	11	62
	en moyennes eaux de	14	50
	en basses eaux de.	17	75

Depuis l'année 1827 jusqu'à la fin de 1888, en considérant les périodes concordant avec la marche des travaux, le prix du fret a varié comme suit :

	fr.	c.		fr.	c.
De 1827 à 1847 il s'abaisse de.	14	75	à	11	14
De 1847 à 1857 —	11	14	à	8	84
De 1857 à 1867 —	8	84	à	7	40
De 1867 à 1880 —	7	40	à	6	30
De 1880 à 1886 —	6	30	à	5	50
De 1886 à 1888 —	5	50	à	4	60

Suivant toute probabilité, un nouvel abaissement dans ces prix se produira au fur et à mesure de la mise en service de bateaux utilisant complètement le tirant d'eau de 3 mètres.

Quant aux prix de fret à la descente, comme ils font l'objet de conventions très variables par suite du retour à vide de la plus grande partie des bateaux, il ne m'a pas été possible d'établir, à leur sujet, des moyennes tant soit peu sérieuses.

On peut toutefois estimer qu'en 1888 ces prix ont varié entre 2 fr. 75 et 3 fr. 50.

Conclusions. — En résumé, au commencement du siècle, la navigation, sur la basse Seine, était souvent interrompue en temps de basses eaux et de crue; avait à compter, en tout temps, avec des difficultés et même des dangers sérieux au passage des ponts et pertuis; ne marchait qu'au moyen du halage par chevaux; était obligée de compter, en temps normal, pour remonter de Rouen à Paris, sur un délai de quinze jours pour les transports ordinaires, et de quatre à cinq jours pour les transports accélérés; ne pouvait que rarement utiliser à pleine charge son matériel calant 1^{m},80 à 2 mètres; devait compter à la remonte sur des prix moyens de fret de 16 francs, et n'atteignait comme trafic que 77 millions de tonnes kilométriques.

Aujourd'hui, la navigation n'est arrêtée qu'en temps de crue extraordinaire et de glace, soit en moyenne dix jours par an; n'a plus à compter avec le passage des ponts et pertuis; a abandonné, comme trop lent, le halage par chevaux, pour recourir à la traction au moyen de bateaux à vapeur (toueurs, remorqueurs, propulseurs, porteurs); peut effectuer le trajet de Rouen à Paris en trois jours pour les trains toués ou remorqués, et en vingt-huit à trente heures pour les porteurs; peut, en tout temps, employer son matériel à pleine charge et, en profitant du tirant d'eau acquis de 3 mètres, mettre en service des bateaux de rivière de 850 à 1000 tonnes de chargement et des caboteurs pouvant recevoir 600 tonnes de marchandises; atteint des prix de fret de 4 et 5 francs la tonne à la remonte et de 2,75 à 3,50 à la descente; enfin a fourni, en 1888, un trafic de 389 568 346 tonnes kilométriques.

Ce sont là des résultats de premier ordre et qui n'ont certainement pas été trop chèrement payés; car, étant donné que les dépenses faites ont été de 88 millions de francs, et qu'en 1888 le nombre de tonnes kilométriques s'est élevé à 389 568 346, l'intérêt calculé à 5 pour 100 des frais de premier établissement, ou, autrement dit, la subvention accordée par le Gouvernement, ne ressort qu'à 0 fr. 011 par tonne transportée.

Mais, si l'on tient compte que les travaux de navigation exécutés avant 1878 peuvent être considérés comme ayant été amortis, à cette époque, par le total des droits de navigation perçus de 1802 (date de leur établissement) à 1880 (date de leur suppression), droits qui n'ont pas rapporté

moins de 10 810 183 francs de 1847 à 1880 seulement, on arrive à cette conclusion que les travaux du mouillage de $3^m,20$, dont la dépense totale s'élève à 60 700 000 francs, ne représentent en fait, par tonne de marchandises, qu'une subvention de 0 fr. 007.

En faisant le même calcul en ce qui concerne la construction des chemins de fer, et en partant des chiffres donnés par la statistique relative à l'année 1887, à savoir que la subvention fournie par l'État, à cette époque, était en nombre rond de 4 milliards, et le nombre de tonnes kilométriques de 10 milliards, on arrive au chiffre de 0 fr. 02 par tonne, lequel s'abaisse, il est vrai, à 0 fr. 0116, si l'on fait entrer en ligne de compte le nombre de voyageurs kilométriques, soit 7 milliards 300 millions.

Comme on le voit, les résultats économiques obtenus par des travaux de navigation même coûteux, lorsqu'ils s'appliquent à des rivières fréquentées comme la Seine, sont comparables, si ce n'est supérieurs, à ceux fournis par les travaux de chemins de fer, et c'est par cette observation que je terminerai.

Paris, le 27 juillet 1889.

III

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

SÉANCE D'OUVERTURE

(GÉNÉRALE)

Lundi 27 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures du matin, sous la présidence de M. Guillemain, président du Comité d'organisation du Congrès.

Après avoir invité les délégués des gouvernements étrangers à prendre place au bureau, M. le Président ouvre la séance en ces termes :

« Permettez-moi, messieurs, de vous souhaiter cordialement la bien-« venue. Le Comité d'organisation est fier et heureux de voir répondre à « son appel autant d'hommes éminents qui veulent bien nous apporter le « concours de leurs lumières et partager leur temps entre l'Exposition « universelle et le Congrès. Nous ne pouvons remettre en de plus dignes « mains les pouvoirs qui nous avaient été confiés et c'est à vous qu'il « appartient actuellement de choisir le bureau qui devra diriger vos « travaux.

« Toutefois, jaloux de ménager votre temps, nous avons cru indispen-« sable de vous proposer immédiatement un programme qui fût de nature « à vous permettre d'utiliser le mieux possible le temps que vous voulez « bien nous consacrer. Nos secrétaires, qui ont été la cheville ouvrière de « l'œuvre et qui ont apporté à la préparation du Congrès l'activité et le « dévouement les plus complets, vont vous faire connaître ce programme. « S'il obtient vos suffrages, nous pourrons dès demain commencer nos « excursions dans les moments que laisseront libres les séances.

« Je donne la parole à M. Flamant pour vous faire connaître les dispo-« sitions dont nous vous proposons l'adoption et, lorsque vous aurez dé-« terminé ce qu'il vous convient de faire, vous voudrez bien choisir le « bureau qui devra diriger vos courses et vos délibérations. »

M. Flamant, secrétaire, expose que les travaux du Congrès se divisent en deux parties : les séances et les excursions. Le programme de ces tra-

vaux a été distribué, il comprend, pour chacun des jours de la semaine une ou deux séances avec une courte excursion dans l'intérieur ou à proximité de Paris.

Les séances seront consacrées à la discussion des très remarquables rapports qui ont été distribués et dont l'annonce a amené beaucoup d'adhésions.

Il paraît utile que le Congrès, pour la discussion de ces rapports, se divise en deux sections : la première s'occupant de l'utilisation des eaux au point de vue agricole et industriel, la seconde étudiant les questions de navigation intérieure. Chacune de ces sections aura à constituer son bureau et à fixer son ordre du jour.

Pour les excursions, M. Flamant donne lecture, en le développant, du programme qui en a été arrêté par le comité et il demande que les membres du Congrès qui ont l'intention de prendre part à chacune d'elles veuillent bien le faire connaître au secrétariat.

Enfin, il annonce qu'un certain nombre de personnes ont envoyé des livres et brochures destinés à être mis sous les yeux des membres du Congrès. Ces livres et brochures sont déposés au secrétariat, où l'on pourra en prendre connaissance.

A la suite de cette communication, M. le Président invite le Congrès à procéder à la constitution de son bureau.

Plusieurs membres proposent le maintien du bureau du Comité d'organisation.

M. le Président fait observer que, si cette proposition était adoptée, il serait, dans tous les cas, nécessaire d'adjoindre à ce bureau un certain nombre d'autres personnes pour l'aider dans sa tâche.

Il propose d'attribuer tout d'abord la présidence d'honneur à M. Yves Guyot, ministre des Travaux publics, qui a témoigné l'intérêt le plus vif pour les travaux du Congrès et qui se propose de diriger lui-même la grande excursion projetée à Rouen et au Havre.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

La proposition relative au maintien du bureau du Comité d'organisation, renouvelée par un membre, est également adoptée à l'unanimité et, sur la proposition du Président, le Congrès adjoint à ce bureau les membres suivants, de nationalités diverses, pouvant donner à leurs nationaux, dans leur langue, les explications nécessaires :

MM. Askenasy (Allemagne).
Abernethy (Angleterre).
Dr Russ (Autriche-Hongrie).
Lamal (Belgique).
Général Tcheng-Ki-Tong (Chine)

MM. Colonel Craighill (États-Unis).
Caland (Hollande).
Van Zuylen (Hollande).
Baccarini (Italie).
de Souza Gomès (Portugal).
Gonin (Suisse).
Pestalozzi (Suisse).

Enfin, le congrès désigne, pour les bureaux des sections, les membres dont les noms suivent :

1re section. — Utilisation industrielle et agricole des eaux.

Président : M. Gauckler.

Vice-Présidents : MM. Llaurado
Lindley.

Secrétaires : MM. Babinet.
Launay.
Torricelli.

2e section. — Navigation intérieure.

Président : M. de Raeve.

Vice-Présidents : MM. de Goldschmidt.
Carlier.

Secrétaires : MM. Bousigues.
Pavie.
Fleury.
Loureiro.

Les bureaux étant ainsi constitués, M. le Président demande au Congrès d'approuver le programme préparé par le Comité d'organisation, tant pour les séances que pour les excursions, et d'en ordonner l'exécution. Cette proposition est adoptée.

Il donne lecture d'une dépêche de M. Carpi, s'excusant de ne pouvoir assister au Congrès et se terminant par ces mots : « Vive la France, toujours en tête du progrès » qui sont couverts d'applaudissements.

Après avoir indiqué les locaux où se tiendront les séances de sections t les séances générales, M. le Président rappelle que, d'après le pro

gramme qui vient d'être adopté, les sections doivent se réunir le même jour, 22 juillet, à deux heures de l'après-midi, et tenir une première séance, à la suite de laquelle on ira visiter le réservoir de Montsouris.

Il donne la parole à M. Beaurin-Gressier pour sa conférence sur : « *Les droits individuels et collectifs sur les eaux courantes.* »

(Voir le texte de cette conférence, pages 277 et suivantes).

M. le Président exprime à M. Beaurin-Gressier les remercîments du Congrès pour son intéressante conférence et lève la séance à onze heures.

SÉANCES DE LA 1re SECTION

PREMIÈRE SÉANCE

Lundi 22 juillet.

La séance est ouverte à 2 heures et demie, sous la présidence de M. Gauckler, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

M. le Président propose de discuter les rapports soumis au Congrès dans l'ordre suivant : 1° hydraulique agricole, 2° aménagement industriel des eaux; 3° usages domestiques. Cette proposition est adoptée : il est convenu que le rapport de M. Rolland ne sera pas discuté avant le jeudi 25 juillet, jour où arrivera son auteur.

La parole est donnée à M. de Llaurado, ingénieur en chef du district forestier de Madrid, pour résumer son rapport sur l'avenir des canaux d'irrigation (voir ce rapport, page 3).

M. de Llaurado fait remarquer qu'il ne s'est pas préparé à cet exposé verbal; il s'en acquitte cependant aussitôt. Il s'est occupé surtout de l'Espagne, son pays, dont il connaît les irrigations mieux que celles des autres pays, bien qu'il ait visité aussi le midi de la France. Il lui semble que, dans les vallées françaises qui versent leurs eaux à la Méditerranée, le développement des irrigations est dû surtout à la nécessité de combattre le phylloxera. En Espagne, les irrigations sont une question de vie ou de mort : rien ne pousse sans arrosages artificiels. Cependant beaucoup d'entreprises d'irrigations ont périclité, parce qu'elles ne peuvent compter que sur les produits directs, et à cause de la différence énorme entre les débits d'hiver et d'été : on est très limité par la quantité d'eau disponible. Il faut faire exception pour la célèbre huerta de Murcie, vrai jardin entouré de montagnes nues et stériles, où l'emploi de l'eau a donné des résultats merveilleux, et où l'agriculture a pris un caractère industriel : il en est de même pour les irrigations de l'Ebre près de Saragosse.

L'orateur distingue en Espagne les irrigations traditionnelles, qui remontent au temps des Arabes ; celles qui datent de la période de con-

quête; les irrigations modernes et enfin celles d'aujourd'hui. Il donne des renseignements détaillés sur la construction et le fonctionnement du canal d'Urgel, du canal impérial d'Aragon et sur les arrosages des environs de Barcelone (delta du Llobrégat). Il en conclut que l'État a souvent intérêt à prendre la charge d'entreprises de ce genre, quand l'initiative privée ne peut y suffire; car, outre le tarif qu'il perçoit directement, le Trésor public profite, par l'accroissement de l'impôt, de l'augmentation de la richesse nationale, et des prélèvements que le fisc opère sur ses diverses transformations.

M. le Président remercie l'orateur de son très intéressant exposé. Il y a cependant des réserves à faire sur le développement des canaux d'irrigation français depuis l'invasion du phylloxera. Le canal de Craponne est très ancien, et celui du Verdon antérieur à la destruction des vignobles.

M. Mendès Guerreiro, ingénieur portugais, demande à M. de Llaurado des renseignements sur les irrigations dans la Galice espagnole.

M. de Llaurado fait remarquer que l'extrémité Nord et Ouest des montagnes qui prolongent la chaîne des Pyrénées a un caractère bien différent du versant méditerranéen incomparablement plus sec. On observe 2 mètres de pluie par an à Vigo, au lieu de 300 millimètres à Carthagène. Dans la région cantabrique, les eaux, très abondantes, sont presque exclusivement appliquées à l'arrosage des prairies. On ne peut cependant méconnaître l'importance des irrigations; car les rivières, dans ce pays, ont une forte pente, de sorte que les prairies sont rares sans le secours des arrosages, et par conséquent la stabulation resterait peu intense. Le pâturage dans la montagne même fait perdre de la force et de la qualité au bétail.

M. Vauthier, ancien ingénieur des Ponts et Chaussées, demande qu'on serre de près l'examen du prix des irrigations. Il désire savoir si la charge de 1 579 000 francs par an, indiquée dans le rapport de M. de Llaurado pour le canal d'Aragon (qui a coûté 25 millions et peut donner 250 000 francs de revenu), comprend les intérêts du premier établissement.

M. de Llaurado répond affirmativement, et fait remarquer, que, pour ce canal, les frais d'entretien ont été exagérés jusqu'ici par les réparations annuelles du grand barrage de l'Ebre, qui va être remanié moyennant une dépense de 1 500 000 francs. Il ajoute qu'il est toujours important d'avoir l'eau, dans son pays, si cher qu'elle coûte : car sans elle la population n'existerait pas, et les contributions que l'État en tire disparaîtraient.

M. Deligny, ingénieur civil, conseiller municipal de Paris, demande à M. de Llaurado quelques détails sur les irrigations de Lorca, qu'il a lui-même étudiées sur place il y a 30 ans. Il a entendu dire que les terres, irriguées de nouveau après une longue interruption, auraient décuplé de valeur.

M. de Llaurado rappelle à ce sujet le savant ouvrage de M. Maurice Aymard, qui est classique pour les irrigations d'Espagne. La catas-

trophe du précédent barrage de Lorca, fondé sur un pilotage pour soutenir 40 mètres de hauteur d'eau, puis culbuté par les eaux en produisant une inondation affreuse, avait vivement frappé les esprits. Cependant, le besoin absolu des irrigations a triomphé de ce souvenir. L'orateur développe les renseignements que contient son rapport au sujet du nouveau barrage; il rappelle que les atterrissements y ont atteint plus de 14 mètres de hauteur.

M. le Président demande si cette considération est primordiale; il y a près de Lérida des barrages de réservoirs envasés, très anciens, dont l'origine remonte aux Romains pour quelques-uns, et qu'on n'utilise pas. N'y aurait-il pas lieu de les exhausser?

M. de Llaurado reconnaît que les réservoirs ne reçoivent pas tous des dépôts aussi considérables que celui de Lorca. Aussi, on en construit d'autres, car les rivières ne suffisent pas partout.

M. le Président désire aussi savoir si le périmètre des irrigations ne pourrait pas, souvent, être étendu par l'usage des machines élévatoires, et en particulier de norias qui emprunteraient la force motrice à une partie même de l'eau emmagasinée.

M. de Llaurado donne comme exemple la région de Valence, où l'hectare d'orangers vaut 38 000 francs, et où l'on élève l'eau d'une hauteur de 40 mètres, à l'aide de machines à vapeur. L'orateur a lui-même dans son pays une propriété où il tire l'eau d'une profondeur de 30 mètres. En dehors de ces cas, où la valeur énorme de la culture justifie des procédés exceptionnels, il croit bien que l'eau peut être économiquement élevée par un prélèvement sur son propre volume, lorsque ce dernier est suffisant.

M. de Souza Gomès, ingénieur portugais, fait connaître que le gouvernement de son pays se préoccupe des irrigations. Les eaux y sont abondantes l'hiver, basses l'été, comme en Espagne. Des restes de barrages dus aux Maures se retrouvent, même aux environs de Lisbonne; mais l'usage en a été longtemps abandonné. L'orateur et M. Mendès Guerreiro ont été membres d'une commission chargée de choisir les emplacements de nouveaux barrages de réservoirs. Les ressources limitées du budget ont conduit le gouvernement à n'en construire qu'un pour commencer : il aura 35 mètres de haut, 250 mètres de longueur, et retiendra 60 millions de mètres cubes. La dépense prévue est de 2 millions : outre les irrigations, cet ouvrage doit servir à régulariser la navigation. Trois autres barrages ont été étudiés pour le cas où celui-ci donnerait de bons résultats. Il n'y a pas, pour le moment, d'autres irrigations importantes en Portugal, car l'exemple des Maures y avait été oublié. Lisbonne, pour 100 000 habitants, ne disposait que de 3000 mètres d'eau par jour, au commencement du siècle; le canal d'Alviella, qui a 114 kilomètres de longueur, lui a donné 40 000 mètres cubes d'eau de source. Ce n'était pas encore suffisant avec la distribution à robinet libre : on a dernièrement

généralisé le compteur, ce qui permet de vivre jusqu'ici avec l'alimentation actuelle; mais, pour avoir davantage, il faudra prendre les eaux dans le Tage, faire des irrigations de Santarem à Lisbonne, et affecter le reste au service public de la ville, en adoptant la double canalisation comme à Paris.

M. Mendès Guerreiro, ingénieur de 1re classe, ancien directeur des travaux du port de Lisbonne et de l'école agricole de réforme, à Villa Fernando, remercie M. de Llaurado pour la réponse qu'il vient de faire à sa question sur les irrigations en Galice; elle démontre combien sont différents les procédés d'irrigation applicables selon les climats; il insiste à ce sujet sur le contraste entre les versants océanien et méditerranéen. L'orateur signale les bons résultats qu'il a obtenus dans son pays en élevant l'eau à l'aide des moulins à vent américains; un moulin de cinq chevaux-vapeur, travaillant 6 heures par jour, peut arroser 6 hectares de terrains maraîchers à culture intense. Il attire, en outre, l'attention sur l'amélioration progressive d'un ancien système d'irrigation pour les prairies, usité depuis longtemps dans le nord du Portugal, région pluvieuse à population très dense (194 habitants par kilomètre carré), en aménageant de petites sources qui sortent de montagnes boisées (pins maritimes et sylvestres), et en partageant leur produit proportionnellement aux surfaces irrigables chez chaque intéressé et à sa contribution dans les frais d'entretien par heure et fraction d'heure. Ces prairies sont très riches, et plus productives même que les irrigations du Milanais, à cause de l'exportation du bétail en Angleterre; elles s'égouttent d'elles-mêmes, grâce à la pente des montagnes; les barrages de ces petits réservoirs sont quelquefois en maçonnerie, mais plus souvent en terre recouverte de gazon. M. Mendès Guerreiro désirerait que le Congrès émît un vœu pour la généralisation de l'emploi des moulins à vent, dont il a parlé : ces engins sont d'une application très économique dans les régions où les vents sont permanents dans une même direction pendant un grand nombre d'heures dans la journée, ce qui arrive sur les bords du Tage, à Lisbonne, pour les vents du quadrant nord.

M. le Président rappelle que ce procédé d'élévation des eaux par le vent est déjà employé ailleurs, notamment dans l'ouest de la France et en Hollande. On ne peut le recommander partout; et d'ailleurs l'article 12 du règlement interdit de voter des résolutions. L'insertion de cette communication dans les comptes rendus du Congrès suffira pour attirer l'attention sur elle.

La suite de la discussion est renvoyée au lendemain et la séance levée à 3 heures et demie.

DEUXIÈME SÉANCE

Mardi 23 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures du matin, sous la présidence de M. Gauckler.

La lecture du procès-verbal de la séance précédente est renvoyée au lendemain.

M. Lindley demande la permission de poser tout d'abord une question complémentaire à M. de Llaurado au sujet de son très intéressant rapport, discuté la veille. Qu'a-t-on fait en Espagne pour prévenir le déboisement? M. Lindley en fait ressortir les terribles conséquences par des exemples.

M. de Llaurado répond qu'une loi de 1859 a permis à l'État espagnol d'aliéner, et par conséquent de laisser disparaître les forêts, anciens biens de mainmorte qu'il ne paraît pas indispensable de conserver au point de vue du climat; vu les besoins du Trésor tout ce qui n'était pas planté en pin, chêne ou hêtre a presque disparu aujourd'hui.

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Cotard sur l'avenir des canaux d'irrigation (voir ce rapport, p. 15).

M. Cotard rappelle qu'en Espagne, sauf quelques oasis délicieuses, comme les environs de Murcie, le sol arable est détruit; mais il peut être rétabli avec de l'eau. Le reboisement sans eau est impossible : d'ailleurs il faut ménager les intérêts des propriétaires; l'intervention des gouvernements est indispensable pour les opérations de ce genre.

L'orateur regrette que le caractère d'utilité publique ne soit pas reconnu généralement aux canaux d'irrigation, malgré les plus-values certaines pour le public dont il donne un aperçu d'après son rapport (p. 17 et 18). Les entreprises d'irrigation peuvent être arrêtées par la dépense ou le manque d'eau : cette deuxième cause est la principale. Les étiages baissent, les sources tarissent. L'emploi des réservoirs est limité; à raison de un litre et demi par seconde et par hectare, il faut environ 2 mètres d'eau par an pour un hectare : si le réservoir a 6 mètres de profondeur moyenne, chacun de ses hectares en arrosera trois seulement. Dans les pays peuplés comme la France, les emplacements disponibles pour les réservoirs sont rares : en Algérie, les atterrissements sont à craindre. On

ne peut guère compter sur les rivières. L'orateur a eu occasion de faire dernièrement une étude pour la Garonne, dans la vallée de Luchon : on ne pouvait prendre plus de 2 mètres par seconde, ce qui limitait la surface irrigable à 200 hectares.

M. Cotard rappelle l'enquête qu'il a ouverte pour la rédaction de son rapport, et les résultats qu'elle lui a donnés, notamment pour l'Amérique, où il y a des irrigations merveilleuses. Elles y sont sans doute plus faciles qu'en Europe : mais il faudrait ici faire autre chose que ce que l'on fait. Les véritables réservoirs sont les masses de terre profondes : il faudrait y dériver les eaux le plus haut possible, contrairement au code civil qui fait le gardiennage des eaux en prescrivant de les rendre au point bas de chaque fonds, ce qui accélère leur écoulement vers le fond des vallées. Les avantages des irrigations sont indiscutables ; mais leur avenir est nul si les hauteurs restent incultes. Il faudrait de l'eau en Beauce : l'éponge terrestre y est trop sèche. L'eau devrait couler le plus loin possible sur les faîtes séparatifs des vallées, pour descendre lentement et s'emmagasiner sur leurs versants. L'orateur ne croit pas que ce soit impossible.

Il rappelle qu'on a établi, devant l'Académie des sciences de Paris, ce fait que la terre sèche n'absorbe pas l'azote et ne sert plus de siège aux combinaisons chimiques atmosphériques. Les engrais ne suffisent pas : lui-même en a fait l'expérience dans ses terres, en Berry, suivant les indications d'un agronome distingué. L'apparence a été magnifique au printemps; mais la sécheresse de l'été a tout tué. Les irrigations en grand sont donc nécessaires : comment y procéder? c'est la question que M. Cotard croit devoir poser sans pouvoir la résoudre entièrement.

M. Deligny insiste sur la nécessité d'appliquer le crédit, et surtout le crédit public, aux entreprises d'irrigation; car lui seul peut les faire vivre, en escomptant la plus-value double ou triple de la valeur primitive en France (par exemple dans la plaine de Tarbes), et parfois décuple en Espagne. L'orateur entre dans certains détails sur l'aménagement d'une propriété qui a reçu des eaux d'irrigation, et sur l'installation des cultivateurs; il en prend un exemple à Gennevilliers.

M. Vauthier fait remarquer que le côté administratif ou économique des irrigations dont vient de parler M. Deligny est au moins aussi important que le côté technique. Suivant l'expression de M. Cotard, les personnes qui s'occupent d'irrigations sont souvent traitées d'utopistes : c'est une opinion contre laquelle il faut réagir. Il rappelle ses efforts pour faire aboutir la question des canaux dérivés du Rhône, et demande au Congrès d'écouter le lendemain un extrait du travail qu'il avait préparé à ce sujet sur la valeur comparative d'un mètre cube d'eau employé soit pour l'agriculture, soit en force motrice, soit pour la navigation.

Le Congrès, Consulté, décide que cette communication sera à l'ordre du jour de la prochaine séance.

M. Bechmann croit pouvoir tirer une conclusion pratique des plaintes formulées par M. Cotard, à l'occasion des hautes questions qu'il a traitées. Une grande partie du Congrès actuel s'occupe de navigation : cependant l'emploi le plus essentiel de l'eau est celui où elle ne peut être remplacée par rien, c'est-à-dire l'agriculture et l'alimentation des villes, tandis que les transports peuvent s'effectuer autrement que par eau. En France, comme dans tous les pays de législation romaine, l'eau n'est pas protégée à son point de départ; il y aurait des vœux à formuler à ce sujet. L'orateur est d'avis que l'application agricole et domestique des eaux devrait être étudiée dans des Congrès réguliers, comme la navigation.

M. le Président fait remarquer qu'on s'est occupé de ces questions à Vienne en 1886, et surtout à Francfort en 1888 : il rappelle à ce sujet le très important travail de M. Philippe, directeur de l'hydraulique agricole au ministère de l'agriculture de France.

M. Bechmann demande si le rôle des applications agricoles n'a pas été considéré comme secondaire dans les précédents Congrès, et si l'on n'y a pas réuni des frères ennemis.

M. Cotard appuie vivement cette manière de voir, et propose de formuler un vœu qui serait transmis au prochain Congrès de navigation, et qui tendrait à lui faire adopter pour l'avenir la désignation plus générale et plus compréhensive de *Congrès des eaux*, ou *d'utilisation des eaux*.

M. Lindley rappelle la question de droit traitée la veille en conférence par M. Beaurin-Gressier. Pour l'utilisation des eaux, comme pour une foule d'autres questions, on doit rechercher le système le plus avantageux pour le plus grand nombre. M. Cotard demande 1 litre et demi par seconde et par hectare : or on sait que c'est à peu près le débit d'étiage des rivières, correspondant à un kilomètre carré de bassin, c'est-à-dire à une surface cent fois plus grande. Toutes les eaux ne suffiraient donc pas à l'irrigation de la surface entière, dans nos pays. On est d'accord sur la nécessité d'un changement absolu dans l'aménagement des eaux : il faut relever les étiages, mais comment ? M. Cotard indique un moyen : c'est de faire couler l'eau le long des lignes de faîte. En admettant la possibilité du fait, parfois douteuse, l'orateur demande où l'on trouverait sur des pentes dénudées, comme celle des montagnes espagnoles, par exemple, les masses de terre qui devraient absorber les eaux. Pour lui, le reboisement est la première chose à faire; l'eau suivra. Quant aux réservoirs, le reboisement est nécessaire pour eux aussi, afin de diminuer les atterissements. M. Lindley rappelle les anciennes irrigations de l'Amou-Daria, et de l'Inde avant la conquête anglaise, détruites par les envasements ; le réservoir de Lorca, cité par M. de Llaurado en est encore un exemple. Il faut recevoir l'eau dans une éponge, comme le dit M. Cotard; mais, quand elle n'existe pas, il faut d'abord la faire. Il faut copier la nature, et non agir contre elle.

M. Cotard se déclare en désaccord absolu avec M. Lindley : il regrette de

n'avoir pas le temps de réfuter son opinion à loisir. Il n'est pas d'accord non plus avec le conférencier de la veille : n'y a-t-il pas de grands inconvénients à laisser toujours l'eau aux riverains, selon le système du code civil? L'orateur est d'avis que c'est un bien commun, comme le croyaient les Musulmans, et qu'il faut la disperser le plus possible, pour en tirer le plus grand avantage, au lieu de la rendre le plus tôt possible au fond des vallées. Il fait remarquer d'ailleurs qu'au Maroc, par exemple, les eaux sont étagées et servent successivement sur des surfaces très considérables, ce qui infirme la valeur du calcul de M. Lindley sur leur insuffisance.

M. Lindley fait remarquer de bonne grâce que, si l'on n'était jamais en désaccord, il n'y aurait pas de discussions propres à éclaircir les questions. Il est bon, selon lui, de traiter des sujets pareils dans des Congrès analogues à celui-ci ; mais il craindrait qu'en laissant de côté les questions de navigation, pour s'occuper seulement de l'utilisation agricole, on ne se fût placé à un point de vue trop exclusif.

M. Deligny demande pourquoi dans la Sierra Morena (vallée du Guadalquivir), qui a 600 kilomètres de long sur 130 kilomètres de largeur, entièrement boisée d'ailleurs, les eaux ne sont pas utilisées : les terres du bas sont sans eau.

M. le Président répond que M. de Llaurado en a donné la raison : c'est que la population manque.

L'ordre du jour de la séance suivante est arrêté de la façon suivante : 1° Communication de M. Vauthier ; 2° rapports de MM. Fournié et Barois.

La séance est levée à 10 heures trois quarts.

TROISIÈME SÉANCE

Mercredi 24 juillet.

La séance est ouverte à 9 heures un quart sous la présidence de M. Gauckler.

Les procès-verbaux des deux dernières séances sont lus et adoptés.

M. le Président informe la section que M. Loppens ne peut assister à la réunion et demande la remise à la prochaine séance de sa communication relative au rouissage du lin et du chanvre.

L'ordre du jour appelle lecture de la note de M. Vauthier sur la comparaison des valeurs d'un mètre cube d'eau employé soit à l'agriculture, soit pour la navigation, soit comme force motrice.

M. Vauthier donne lecture de la communication suivante :

DE L'AMÉNAGEMENT GÉNÉRAL DES EAUX NATURELLES

« *Bases pour la France d'une comparaison portant sur les accroisse-* « *ments de la richesse publique qui sont, ou pourraient être obtenus par* « *l'emploi des eaux naturelles :*

1° A LA NAVIGATION. — 2° A L'IRRIGATION. — 3° COMME FORCE MOTRICE.

« Les travaux remarquables qu'ont fait surgir les questions posées par « le comité d'organisation du *Congrès de l'utilisation des eaux fluviales* « conduisent naturellement l'esprit à la comparaison qui fait l'objet de ce « petit travail.

« Parmi les emplois des eaux que nous venons d'indiquer, nous n'avons « pas mentionné le plus important de tous à certain point de vue ; celui « de l'alimentation des hommes et des animaux. La valeur de l'eau pour « cette destination est pour ainsi dire incommensurable. La seule question « qu'on pourrait se poser à ce sujet est celle-ci : Quel est le sacrifice que « l'homme est disposé à faire pour substituer, dans l'alimentation et les « usages domestiques, une qualité d'eau à une autre ? Cette question trou- « vera sa réponse dans la discussion du rapport de M. Lindley. Tenons- « nous-en aux trois termes de comparaison ci-dessus posés.

« Les chiffres qui vont suivre sont, j'en fais immédiatement la remarque, « absolument théoriques et ne présentent un sens précis que sous cer- « taines réserves. J'ajoute qu'ils ne sont pas absolument homogènes, car « ils se déduisent : pour la navigation, de faits réalisés; pour les deux « autres emplois, de faits à créer.

« Je vais les donner d'abord : les observations viendront ensuite.

« Une question préliminaire, indispensable à résoudre tout d'abord « est celle-ci :

« *Quel est pour la France le volume annuel d'eaux naturelles dispo-* « *nibles?*

« Suivant Reclus, le volume total annuel des eaux météoriques conduites « à la mer par l'ensemble des cours d'eau qui drainent le territoire fran- « çais est de 190 milliards de mètres cubes.

« Ce chiffre correspond à une surface totale du territoire de 518 830 ki- « lomètres carrés recevant une hauteur moyenne d'eaux pluviales de 0^m77 « par an, dont une fraction, 0,37 environ (exactement 0,3662) n'est pas « absorbée dans les profondeurs du sol ni évaporée, et alimente les « thalwegs.

« Nous avons des raisons de croire que cette évaluation est trop forte. « En mettant en rapport pour les bassins de la Gironde, de la Loire, et de « la Seine, dont la surface représente, d'après le même auteur, 283 000 « kilomètres carrés, soit à peu près 55 pour 100 de la surface de la France, « les débits moyens par seconde donnés par Reclus avec ceux que nous « indiquent les services hydrologiques de ces bassins ou des ingénieurs « qui se sont particulièrement occupés de ces recherches, nous avons pour « les trois fleuves en question 2050 mètres cubes par seconde au lieu de « 2857 mètres; rapport 0,7175. Le débit total annuel évalué par Reclus, « réduit au prorata, est ramené à 135 714 millions de mètres, soit en nombre « rond 136 milliards, ce qui correspond à une hauteur moyenne d'eau « livrée aux thalwegs de 0^m2616 (soit 0^m26); et son débit total par seconde, « qui est de 6000 mètres cubes, est ramené à 4305 mètres, soit 4300 mètres.

« Donc : cube total annuel écoulé par les thalwegs, 136 milliards de « mètres cubes; écoulement moyen total par seconde : 4300 mètres cubes. « Tels sont les chiffres dont nous allons nous servir.

1° Navigation.

« D'après la statistique graphique du Ministère des travaux publics, le « nombre de tonnes kilométriques transportées par les voies navigables « intérieures a été en 1885 de 2 450 749 500.

« Arrondissons ce chiffre, et portons-le à 2 500 millions de tonnes kilo- « métriques.

« Même ainsi, il est loin de représenter la puissance fonctionnelle de

« l'appareil nautique intérieur. Mais nous ne considérons ici que le fait « actuel.

« Quel est l'avantage que procure à la richesse publique le transport « par voie d'eau d'une tonne kilométrique?

« Le coût moyen du transport d'une tk. sur l'ensemble des six grands « réseaux français est de 5c,908, avec des écarts considérables.

« Par la voie d'eau, le fret d'une tk. peut descendre à 1c,5, et même « moins sur certaines voies spéciales. Nous ne pensons pas exagérer en le « fixant en moyenne à 3 centimes.

« Différence avec la voie ferrée 0 fr. 03.

« Soit pour les 2500 millions de tk. 75 millions de francs.

« La mise en rapport de ce chiffre avec le volume d'eau écoulé donne $\frac{75 \text{ millions de fr.}}{136 \text{ milliards de m}^3} = 0$ fr. 00 055, pour 1 mètre cube.

« La valeur actuelle d'un mètre cube d'eau servant à la navigation, « mise en rapport avec le mode de transport le plus économique après « elle, et qui peut, aussi bien sinon mieux qu'elle, pénétrer partout, est « donc de 55 cent-millimes. Si la différence de 3c sur laquelle ce résultat « s'appuie était jugée trop faible, et qu'on la portât à 4c par exemple, on « aurait (au lieu de 55), 74 cent-millimes, qui est un grand maximum.

« On peut présenter au sujet de ce résultat plusieurs observations :

« 1° La puissance fonctionnelle de l'appareil nautique est loin d'être « épuisée et toute augmentation relèverait au prorata la valeur obtenue.

« 2° Le volume écoulé est loin d'être tout entier *utile* à la navigation. « La surabondance de ce volume à certains moments est bien plutôt *nui-* « *sible* qu'utile.

« Ces observations sont justes. Mais le degré actuel de l'utilisation de la « puissance fonctionnelle des voies de transport par eau est un fait qui « n'est pas modifiable à volonté; et, dans l'état actuel des choses, tant « qu'on n'aura pas trouvé ou mis en œuvre les moyens nécessaires pour « *discipliner* le régime des cours d'eau, le résultat ci-dessus *exprime un* « *fait réel moyen* incontestable.

2° Irrigation.

« D'après les rapports présentés au Congrès, notamment d'après le tra- « vail si intéressant de M. Cotard, l'emploi en irrigation de 1lit,5 par « seconde coulant constamment correspond à un prix vénal de 70 francs « par an; il procure au pays, suivant la Commission supérieure de 1879 « pour l'aménagement et l'utilisation des eaux, un bénéfice d'au moins « 200 francs en capital.

« 1lit,5 par seconde représente annuellement 47 304m3.

« Donc l'augmentation de la richesse publique due à l'emploi en irriga- « tion de 1m3 d'eau est égale à $\frac{200 \text{ fr.}}{47\,304} = 0$ fr. 00 423;

« Soit 7 fois, 7 environ le résultat obtenu ci-dessus pour la navigation.

« Pour le volume d'eau pluviale écoulé dans l'année, s'il pouvait être « utilisé tout entier en irrigation, l'augmentation annuelle de la richesse « publique serait de $\frac{136 \text{ milliards de m}^3 \times 200 \text{ fr.}}{47\,304 \text{ m}^3} = 575$ millions de « francs, et remarquons que le même volume d'eau, dans la même vallée, « peut-être utilisé en irrigations au moins deux fois, ce qui conduirait à « une augmentation de près de 1200 millions de francs.

« Sans doute un tel degré d'utilisation est une limite théorique impos- « sible à atteindre.

« Les crues abondantes s'écouleront toujours par les thalwegs sans « pouvoir être utilisées, et le volume de ces crues représente pour la « France une fraction notable, qui va du tiers au quart de la totalité du « débit annuel.

« Il y a encore une foule de causes de déchet que l'on pourrait citer. « Mais le degré d'utilisation n'arriverait-il qu'au huitième environ du « volume total, que le résultat obtenu serait de même amplitude que celui « acquis par les voies navigables, pour lesquelles on fait depuis plusieurs « siècles, et avec raison, tant d'efforts.

« Notons d'ailleurs que l'emploi de l'eau en irrigations peut augmenter « légèrement l'absorption et l'évaporation de celle-ci, mais que la majeure « partie en est restituée aux thalwegs, même avec avantage car elle y « arrive alors plus uniformément. De telle sorte, qu'il ne faut nullement « envisager le résultat de la comparaison ci-dessus comme une raison « pour délaisser l'application de l'eau à la navigation et se tourner exclu- « sivement vers l'irrigation. Les deux modes d'emploi ne sont pas en oppo- « sition : ils se prêtent plutôt un mutuel concours.

3° Force motrice.

« L'écoulement total par seconde des cours d'eau français est de « 4300 mètres; soit 4 300 000 kilogrammes. Quelle est la hauteur « moyenne de chute dont chacun de ces éléments dispose?

« Des recherches appliquées aux quatre grands bassins de la Seine, de « la Loire, de la Gironde et du Rhône, nous ont donné pour altitude « moyenne des thalwegs de toute la surface au-dessus de leur débouché « (niveau de la mer) :

En ce qui concerne la Seine	90	mètres.
— la Loire	200	—
— la Gironde	260	—
— le Rhône (partie en France)	190	—
Si l'on admet pour les bassins secondaires	40	—

« On a, comme moyenne composée, en tenant compte des surfaces par- « tielles respectives, 148 mètres; soit en nombre rond 150 mètres.

« La force motrice moyenne constamment disponible, intégralement « utilisée, représenterait donc 4 300 000 kilogrammes × 150 mètres « = 645 000 000 kilogrammètres.

« Or, d'après le rapport de la commission d'aménagement et d'utilisa- « tion des eaux de 1879 déjà cité (Voir Rapport Barois, page 143), la valeur « vénale moyenne d'un volume d'eau permanent de 100 litres par seconde « tombant de 1 mètre ou de 100 kilogrammètres, varie en France de « 150 à 200 francs, et la même force obtenue par la vapeur coûterait « quatre fois plus, soit de 600 à 800 francs.

« La substitution intégrale, si elle était possible, de la force motrice « hydraulique disponible à celle de la vapeur, augmenterait donc annuel- « lement la richesse publique de 450 à 600 francs, disons de 500 francs « par 100 kilogrammètres. C'est 5 francs par kilogrammètre, et, pour « le nombre de ces unités obtenu ci-dessus, le bénéfice énorme de « 3 225 000 000 francs.

« Ce bénéfice est produit par un volume total annuel de 136 milliards « de mètres cubes d'eau.

« Il correspond par mètre cube à $\frac{3\,225\,000\,000 \text{ fr.}}{136\,000\,000\,000} = 0$ fr. 02371.

« Ce résultat a pour nous quelque chose de tout à fait imprévu.

« Il est évident que de nombreuses raisons s'opposent à l'utilisation « intégrale sur laquelle ce calcul est basé. Il n'en est pas moins vrai que « le chiffre qu'il donne montre quelle énorme richesse latente gît dans « l'eau en mouvement. Et remarquons que si, dans le passé, l'utilisation « des eaux courantes comme force motrice a pu détériorer certains cours « d'eau au point de vue de la navigabilité, ce n'est pas là une conséquence « inéluctable de cet emploi; à quoi il faut ajouter que, si l'irrigation exige « de la pente, elle est loin d'épuiser la force motrice de l'eau. Il y a donc « harmonie possible entre les divers modes d'emploi renfermés dans cer- « taines limites.

« Si nous résumons les résultats ci-dessus obtenus, nous avons pour « valeur utile d'un mètre cube d'eau suivant les différences d'application.

Pour la navigation. .	55 centmillimes.	Rapports : la navigation étant prise pour unité.	1
Pour l'irrigation. . .	423 —		7,7
Comme force motrice.	2371 —		43,1

« Bien des causes, sans doute, ont empêché jusqu'à ce jour et empêche- « ront toujours que l'on tire des eaux courantes toute leur valeur utile. « Néanmoins les résultats ci-dessus semblent devoir donner à réfléchir.

« En ce qui concerne l'emploi comme force motrice, notamment, com- « bien de chutes dont les débits ne subissent pas des appauvrissements « trop considérables se perdent aujourd'hui. Nous recommandons cette « observation à ceux de nos collègues qui descendront le 31 juillet la « Seine de Vernon à Martot.

« N'oublions pas toutefois, en face des résultats ci-dessus obtenus, qu'une « question de premier ordre se pose. Quelle serait la fixation de capital « nécessaire pour obtenir l'utilisation de l'eau sous ses diverses formes?

« Pour la navigation, nous avons des faits réalisés.

« L'économie obtenue est de 75 millions de francs. Capitalisée à « 4 pour 100, cette économie permet une dépense de premier établisse- « ment de 1875 millions de francs. La longueur totale des voies navi- « gables est de 12 278 kilomètres; c'est par kilomètre un peu plus de « 150 000 francs.

« Il n'est pas probable que l'ensemble de notre appareil nautique inté- « rieur ait coûté ce prix. Ça a été de l'argent bien placé.

« Combien coûterait l'emploi en irrigation et en force motrice? Pour « l'irrigation, M. Cotard nous a dit jusqu'à quelle dépense on peut aller, « par mètre cube. Je ne discute pas ses chiffres. Pour l'intégralité du « volume disponible, à raison de 1 400 000 francs par mètre cube et par « seconde, on aurait un crédit de travaux de 4300 m. $\times$ 1 400 000 fr. « = 6 020 000 000 francs.

« Ce n'est pas la moitié du capital immobilisé en chemins de fer dans « ces cinquante dernières années, et combien n'eût-on pas pu, dans ces « dix dernières années, réduire l'importance de ce capital! N'eût-il pas « mieux valu l'appliquer, au moins en partie, à créer des produits plutôt « que de l'inutiliser dans des voies destinées au transport de produits qui « n'existent pas?

« Nous ne pousserons pas ces considérations plus loin. Elles demande- « raient pour être approfondies bien plus de temps que nous n'avons pu « leur en consacrer; et, puisque dans les discussions qui se sont déjà « produites devant la première section du Congrès on s'est beaucoup « occupé de l'Espagne, j'emprunterai à ce pays un de ses adages et je « dirai : « Excusez les fautes de l'auteur ».

M. Cotard pense que c'est un tort de croire que l'eau ne servira que deux fois pour l'irrigation; ce coefficient est insuffisant. Il demande à M. Vauthier de vouloir bien remplacer le chiffre 2 par 5 au minimum.

M. le Président doute que l'eau puisse servir deux fois; en effet l'emploi en irrigations comporte la disparition d'une quantité notable de l'eau, par suite de l'absorption et de l'évaporation.

M. Deligny fait connaître qu'à la suite d'expériences faites par les soins de la ville de Paris, à Gennevilliers, on a constaté qu'après irrigation le drainage ne donne aucun résultat; les propriétés bienfaisantes de l'eau se trouvent entièrement épuisées par l'évaporation et par la végétation. Il en serait de même, croit-il, dans tous les pays chauds où l'on économise l'eau, mais le résultat pourrait être différent dans les pays où l'on fait des irrigations par submersion complète, et où l'eau abonde, par exemple à Murcie et dans le Milanais.

M. le Président fait ressortir à ce sujet l'utilité du reboisement dont le rôle ne consiste pas simplement à régulariser l'alimentation des ruisseaux, mais aussi à reprendre l'eau dont l'atmosphère est surchargée, en la condensant sous forme de pluie.

M. Cotard fait remarquer que le calcul de M. Vauthier ne s'applique pas à une culture intensive mais à des milliards de mètres cubes. D'ailleurs il n'insiste pas.

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Fournié sur l'aménagement des cours d'eau au point de vue agricole et industriel.

M. Fournié ignorait que son ami M. Barois fût chargé d'un rapport sur la même question que lui ; il demande donc à ne pas suivre exactement la marche qu'il a adoptée dans son rapport (voir ce rapport, page 127) ; il préfère reprendre la question au point où elle a été amenée par les précédentes discussions. Suivant lui on doit procéder par monographies de régions ; et, à cet égard, il établit au point de vue des nécessités de l'irrigation une différence capitale entre le climat méditerranéen et le climat atlantique.

Il reconnaît les bons résultats que l'on peut tirer des irrigations dans les pays chauds ; mais il fait ses réserves relativement à ceux que l'on obtient dans les climats tempérés, car ils sont en général médiocres.

A son avis, il n'y a rien ou presque rien à faire dans le bassin de la Loire, et bien peu de chose dans le bassin de la Garonne après l'exécution du réservoir d'Orédon sur la Neste, aujourd'hui terminé.

L'orateur critique comme surannée la théorie de M. Duponchel, approuvée par M. Nadault de Buffon en 1869, d'après laquelle on pourrait fabriquer de la terre végétale suivant la formule de M. Georges Ville ou d'autres chimistes et en jetant par exemple les Pyrénées sur les Landes pour y mettre de la potasse ; c'est là une utopie. Quand la terre végétale n'existe pas, toute entreprise hydraulique agricole est vouée à la ruine. Mais M. Fournié croit, comme M. Lindley, à la production de la terre végétale par le reboisement. Il insiste surtout sur les résultats obtenus dans la région des palmiers, qu'il place entre les zones tropicale et tempérée. On y trouve des stocks importants de terre végétale, au moins aussi précieux que la houille ; ils constituent un capital inutilisé que les entreprises d'agriculture industrielle pourraient mettre en valeur. Il cite à ce sujet le travail présenté au Congrès par M. Beau de Rochas qu'il serait intéressant de discuter.

M. Beau de Rochas donne lecture du mémoire suivant, sur l'aménagement des cours d'eau à débit intermittent, dans la région comprise entre le 20e et le 40e degré de latitude, précédemment signalée par M. Fournié.

Communication de M. Beau de Rochas.

« J'ai eu l'honneur d'adresser au Congrès une note d'une certaine étendue sur ce que j'appelle l'*aménagement des cours d'eau à débit intermittent*, comme contribution à la troisième des questions portées à son programme. Je demande la permission d'entrer à ce sujet dans quelques détails qui seront surtout des détails d'application.

« J'ai pris pour point de départ, comme l'a suggéré très pratiquement l'éminent ingénieur chargé de fournir l'entrée en matière à cette discussion : l'utilisation des approvisionnements de terre végétale toute faite et pourvue des éléments de fertilité, que nous ont légués les âges antérieurs », me rapportant à son importante considération que « c'est dans la *région intermédiaire*, du 20e au 40e degré, que l'aménagement des eaux est une nécessité particulièrement impérieuse, à cause de la rareté des pluies ». J'observe que, si cette zone est traversée accidentellement par quelques grands fleuves, prenant naissance en deçà ou au delà, ses cours d'eau sont généralement des rivières torrentielles, torrents ou ravins, alimentés seulement par suite d'orages, de fortes pluies ou de fontes de neige et qui, pour la plupart, ou se tarissent bientôt dans leur parcours, ou restent après les pluies absolument à sec; bref, des cours d'eau à *débit intermittent*.

« Dans cette région, il ne pleut guère que sur les hauteurs, presque pas dans les plaines. Les forêts immenses qui la couvraient en grande partie même encore dans les temps historiques, ont presque partout disparu. Non seulement la quantité de pluie y a été de ce fait notablement diminuée, n'y étant plus attirée comme avant; mais, comme rien ne s'oppose à leur écoulement rapide, les eaux qui tombent sur les hauteurs et qui y sont plus précieuses encore que partout ailleurs, vont, en majeure partie se perdre sans profit à la mer, ou dans les sables des déserts, ou s'évaporer inutilement dans les chotts qui servent d'estuaire aux cours d'eau ci-dessus visés.

« Parvenus dans la plaine, les dépôts de ces cours d'eau ont fourni avec le temps d'importantes alluvions de terre végétale, dont un principal exemple est fourni par la plaine du Melrir au pied du versant méridional de l'Atlas. C'est un cas tout indiqué pour appliquer les vues émises par le rapporteur de la troisième question sur les alluvions anciennes de la zone sans pluie, terrains qui peuvent être remis en valeur par des opérations d'ensemble d'aménagement des eaux, et auxquels le climat assure un rendement rémunérateur.

« Mais cet aménagement ne saurait être conçu comme celui de cours d'eau permanents, laissant dans tous les cas s'écouler des quantités d'eau plus ou moins considérables à l'étiage. Le maximum d'utilisation consisterait évidemment à emmagasiner dans des *réservoirs appropriés* la

« *totalité* de l'eau qui s'écoule des versants récepteurs, avant que ces écou-
« lements n'aillent se perdre ailleurs sans profit.

« Je passe rapidement sur l'établissement de ces réservoirs. Je me bor-
« nerai à en dire que ce n'est pas au moyen de seuls barrages dans les
« gorges des versants qu'on pourrait retenir le volume entier des colatures
« à utiliser pour chaque bassin particulier de réception ; c'est à la sortie
« de ces gorges, en plaine, du moins là où le cône de déjection commence
« à être assez aplati sans que la pente devienne trop faible, que de tels
« réservoirs peuvent être utilement placés. Leur capacité doit être telle
« qu'ils puissent emmagasiner les *excédents* des années pluvieuses pour
« subvenir aux *insuffisances* des années sèches, de manière à remplir les
« fonctions d'un *volant* assurant la constance annuelle de l'irrigation,
« évaporation déduite.

« Comme exécution, l'enceinte, le plus généralement de forme rectangu-
« laire allongée dans le sens de la plus grande pente, doit être tracée de
« manière qu'*ultérieurement* on puisse faire concorder au mieux le moin-
« dre volume des levées avec la moindre évaporation à la surface libre du
« réservoir. Il suffit en premier lieu d'amorcer l'enceinte à l'aval du ter-
« rain que le réservoir doit occuper ; l'objet de ce travail, exécuté par les
« moyens ordinaires de terrassement, est de former un premier degré de
« retenue pour permettre le fonctionnement ultérieur de dragues : dès
« lors le travail progressif de l'exhaussement des levées serait, d'une
« manière générale, le plus économiquement opéré au moyen de dragages
« puisés à l'intérieur et reversés sur leur crête.

« C'est en tout cas le moyen certain d'atteindre aisément les plus gran-
« des hauteurs de levée qui puissent être nécessaires à l'aval des réservoirs,
« car le prix d'un mètre cube incorporé aux levées devient ainsi presque
« indépendant de cette hauteur elle-même.

« Mais j'ai hâte d'arriver à la différence énorme entre les résultats *ré-*
« *munérateurs* de l'aménagement des eaux par des opérations d'ensemble
« destinées à l'utilisation de grandes étendues de terre végétale restées
« jusqu'ici ou redevenues improductives, et ceux des opérations ordinaires
« d'irrigation dont on a pu dire en séance qu'actuellement leur *avenir*
« *était nul.* »

« C'est un fait malheureusement exact, a dit M. Cotard, que la plupart
« des entreprises de canaux d'irrigation, quoique heureuses toujours dans
« leurs résultats généraux, ont été souvent fort médiocres pour les capi-
« taux qui se sont employés à leur réalisation. Plus que médiocres, serait
« encore plus vrai. On a vu les fondateurs ruinés par des canaux qui avaient
« considérablement enrichi leurs usagers. C'est que, livrant l'eau à rede-
« vance fixe, ils ne participaient pas à la plus-value ultérieure des pro-
« priétés. La vraie condition d'une entreprise d'irrigation serait d'être
« d'abord propriétaire de l'ensemble des terrains à rendre irrigables.

« Impraticable manifestement dans la généralité des pays de culture,

« cette condition peut seulement être réalisée dans les contrées déser-
« tiques, d'une stérilité actuellement absolue, comme la plupart des terrains
« d'alluvions dont il s'agit, faisant partie des parcours de tribus nomades
« et dont la valeur vénale est si minime que le prix de cent kilomètres
« carrés reste encore bien loin de celui d'un seul hectare effectivement
« arrosable. Malgré cela, il n'y a pas bien longtemps qu'on aurait eu peine
« à en acquérir sûrement une parcelle même minime et c'est à l'inter-
« vention de l'honorable M. Bourlier, député d'Alger, qu'est due la possi-
« bilité actuelle de traiter avec les Djemma ou communes indigènes de la
« propriété incommutable d'étendues quelconques.

« L'hypothèse est donc, dans l'espèce, que l'opération d'aménagement
« des eaux doit être subordonnée à l'acquisition préalable, en toute pro-
« priété, de l'étendue des terrains qu'il s'agit de fertiliser.

« Cette étendue étant très grande, on se trouve aussi, et plus encore que
« partout ailleurs, en présence de l'insuffisance de la population dans des
« contrées où tout est à créer; mais avec cette circonstance qu'au lieu
« d'un ensemble en bloc, comprenant non seulement les canaux princi-
« paux, mais tout le réseau distributif, comme dans une contrée déjà cul-
« tivée, la dépense d'aménagement et notamment l'exhaussement des levées
« des réservoirs n'ont qu'à suivre une marche parallèle à la possibilité
« du développement de la mise en culture.

« Mais le développement de l'exploitation ne peut lui-même marcher
« plus vite que le recrutement ou la formation d'une population de culti-
« vateurs acclimatés. Or chaque accroissement de l'exploitation parvenant
« successivement à son plein et couvrant de plus en plus les insuffisances
« antérieures, il doit arriver un moment où s'établira un équilibre, même
« bientôt dépassé, entre le produit net de l'exploitation et les dépenses
« nécessaires, tant pour l'avancement des réservoirs que pour son propre
« développement et l'intérêt des capitaux engagés.

« On parvient ainsi à cette conséquence remarquable, au regard des
« entreprises ordinaires d'irrigation, que l'utilisation de grandes étendues
« de terrains actuellement stériles se réduit à l'affectation, *une fois pour*
« *toutes*, d'un certain capital de mise en train, avec lequel chaque opé-
« ration susceptible d'être ainsi entreprise étant une fois mise en état de
« se développer d'elle-même, les résultats les plus importants, même les
« plus inattendus, peuvent ensuite être obtenus, sans qu'il soit désormais
« nécessaire de mettre en ligne aucun capital nouveau.

« Un premier exemple. L'écueil des réservoirs est que ces ouvrages,
« lorsqu'ils sont alimentés par des eaux troubles, sont exposés à un atter-
« rissement plus ou moins rapide. Le barrage-réservoir de Puentes et le
« réservoir de Nijar, cités par M. de Llaurado, en fournissent des exem-
« ples.

« Pour ce qui concerne les réservoirs de la région du Melrir, on y obvie-
« rait, sans que rien n'empêche, en remontant la pente du terrain, en con-

« tinuant à exhausser de la même manière les levées en proportion de « l'envasement, et l'on pourrait ainsi aller fort longtemps. Mais le moyen « radical, chacun ici le comprendra de suite, serait le reboisement et la « correction hydraulique de l'ensemble des versants tributaires du Chott. « Ce bienfait, considérable pour toute la contrée, hauteurs et plaine, pour- « rait commencer à être obtenu bien avant que la plaine fût en entier « cultivée.

« Il y a plus, car ces derniers travaux sont de ceux qui ne peuvent non « plus ni marcher bien vite, ni absorber beaucoup à la fois. Par sa posi- « tion, la région du Melrir est sur le chemin du Soudan vers lequel ses « propres lignes tendront virtuellement à être prolongées. Or, à elle seule « cette région pourrait bien subvenir non seulement à la ligne directe de « pénétration du Soudan, mais encore à autant de lignes alimentaires « qu'il faudrait dans le Soudan même, à raison de 7 à 800 kilomètres par « degré carré, autre bienfait qui aurait pour conséquence l'extinction pro- « chaine de l'esclavage par la pénétration de la civilisation.

« En somme, outre la grande valeur foncière de l'opération, dans le cas « particulier, deux questions d'une grande importance sociale se ratta- « cheraient de plus ou moins près à cette première application d'un amé- « nagement d'ensemble au bassin du Melrir.

« C'est d'une part la *question arabe*, tournant à l'aigu en Algérie et à « laquelle, dès longtemps, le général Desvaux assignait pour solution la « fixation des nomades dans des *Oasis nouvelles*, solution aussi du pro- « blème d'abord obscur du peuplement progressif de la région à aména- « ger.

« C'est d'autre part la question de l'*esclavage en Afrique* par la péné- « tration de voies ferrées, pénétration à laquelle les ressources créées dans « la région du Melrir pourraient largement et en fin de compte très pro- « fitablement concourir à titre d'*accroissement d'actif*.

« Une pareille œuvre pourrait paraître quelque peu utopique, dirai-je « avec M. Cotard préconisant de son côté, et avec mille fois raison, une « opération peut-être encore plus vaste, si l'on prétendait qu'elle dût être « entreprise tout de suite dans son ensemble. Mais non : une dizaine d'an- « nées et, dans cet intervalle, l'avance successive d'au plus 60 à 70 mil- « lions, portant intérêt au fur et à mesure, suffiraient à sa mise en train, « après quoi elle marcherait d'elle-même tous frais et intérêts cou- « verts.

« Nous sommes loin, on le voit, des entreprises ordinaires d'irrigation ; « l'écueil sera peut-être que l'œuvre soit trop belle ; s'il s'agissait de faire « appel à des capitaux obligataires, ceux-ci assurément se contenteraient « indéfiniment d'un revenu fixe parfaitement assuré. Autrement, il n'est « pas certain que les capitaux concourants se contentent du service de « l'intérêt jusqu'à l'entier achèvement d'une œuvre ainsi déterminée, à « moins que ce service ne soit d'ordre négligeable par rapport à un

« ensemble d'autres revenus, comme avec le concours, à ce point de vue « très désirable, de possesseurs d'une fortune déjà très grande.

« Dans cet ordre d'idées, un grand capitaliste américain, M. C. P. Hun- « tington, vient de souscrire 2 500 000 francs au chemin de fer du Congo, « non par spéculation, mais par désir de contribuer à la suppression de la « traite. Cet exemple pourrait trouver des imitateurs et plus facilement « sans doute en tenant mieux compte, qu'il n'est possible au Congo qui « ne sert pas d'intérêts, « des sujétions de la rémunération des capi- « taux ».

« Aucune conclusion, aux termes du règlement, ne devant être votée par « le Congrès, il serait superflu de reproduire les propositions déjà formu- « lées dans la note susmentionnée. C'est assez que les travaux compé- « tents du Congrès soient des semences destinées à fructifier à leur « heure.

M. Lindley fait une observation à l'appui de l'idée émise par M. Fournié, que l'irrigation n'est pas à faire partout; il y a des districts où ce n'est pas l'irrigation mais le drainage qui est de la plus grande nécessité, où l'irrigation serait même nuisible et diminuerait le rendement actuel des terrains.

Il cite notamment le district d'où sont tirées les eaux qui alimentent la ville de Francfort-sur-le-Mein; les propriétaires avaient vivement protesté contre la dépossession de leurs sources et cependant le résultat n'a été nullement ruineux pour les propriétaires dépossédés; on peut même dire qu'il leur a été très favorable.

L'idée des réservoirs contre les inondations n'est pas nouvelle, elle remonte à une trentaine d'années et revient périodiquement après chaque inondation. M. Lindley a eu l'occasion d'étudier la question notamment dans un district de Westphalie et voici la conclusion à laquelle l'ont conduit ses observations. Pour l'agriculture, l'industrie, la navigation, il n'est pas douteux que la construction de réservoirs constitue un bienfait, mais en ce qui concerne la diminution des crues, l'efficacité des réservoirs est bien moindre qu'on ne le croit généralement. Pour l'utilisation des eaux il faut emplir les réservoirs pendant les pluies d'hiver; la diminution des crues exige au contraire des réservoirs vides prêts à recevoir les eaux.

M. Lindley cite certaines sources dans des montagnes volcaniques complètement boisées; leur débit est d'une constance remarquable puisqu'on ne constate pas plus de 15 pour 100 d'écart entre les débits au mois de mars et au mois d'octobre; il est certain que le boisement des montagnes a pour effet d'augmenter et de régulariser les pluies, et de créer des réservoirs naturels dans une couche superficielle étendue, lesquels par suite de leur situation élevée commandant les districts en aval se remplissent et se vident alternativement; c'est à ces pulsations qu'est due l'efficacité de ces réservoirs.

M. Cotard ne croit pas avoir dit, dans les précédentes séances du Congrès ni dans d'autres discussions traitant de l'aménagement des eaux, que les réservoirs pourraient garantir les populations contre les inondations. Mais leur utilité dans certaines conditions ne peut être mise en doute.

Il rappelle à ce sujet le remarquable projet de M. de la Motte qui, moyennant une centaine de millions de francs, créerait dans la plaine de Koum-Ombos un réservoir de 1 400 millions de mètres carrés contenant 7 milliards de mètres cubes, ce qui représente le tiers du plus grand débit du Nil, pendant une vingtaine de jours. En somme la construction des réservoirs a précisément le double but de régulariser l'inondation et d'augmenter l'étiage.

M. le Président fait remarquer que l'idée de régulariser les inondations par des réservoirs a été prise dans la nature; le régime du Rhin n'est-il pas régularisé par les lacs suisses, celui du Rhône par le lac de Genève quoique à un moindre degré.

La Loire et la Garonne au contraire, qui n'ont pas de bassins régulateurs, sont sujettes à de fréquentes inondations.

M. Lindley ajoute que la multiplication des récoltes par des irrigations est spéciale aux pays chauds. Dans beaucoup de districts de l'Allemagne les terres sont froides; il est indispensable de les assainir par des drainages, et lorsqu'elles ont subi cette opération les récoltes sont bien meilleures. Un cas particulier ne peut être pris comme base d'une doctrine générale; chaque contrée doit faire l'objet d'une étude spéciale.

L'heure étant avancée, M. Fournié demande si, avant la discussion du rapport de M. Barois, M. le colonel Van Zuylen ne pourrait pas donner quelques renseignements sur les irrigations des Pays-Bas.

M. le Colonel Van Zuylen déclare qu'il n'est pas préparé à faire une communication de longue haleine; mais il tâchera de satisfaire au désir qui vient d'être exprimé.

Quand on parle de l'irrigation dans les Pays-Bas, il faut y distinguer deux parties différentes : l'une relative aux possessions du Royaume dans les autres parties du monde, et l'autre au pays même en Europe.

Quant à la première partie, l'orateur ne peut, pour le moment, donner des détails et des chiffres; il n'a même pas pu les donner à M. Cotard, en réponse à son questionnaire sur l'avenir des canaux d'irrigation, parce que les données afférentes aux Indes orientales, dont il faudrait parler spécialement, auraient dû venir de Batavia.

M. Van Zuylen se bornera à donc donner au Congrès une idée générale sur l'état des choses dans l'archipel asiatique des Pays-Bas. Vu le caractère de cette région et de ses cultures, (celle du riz est la principale pour les indigènes) il n'est pas besoin de dire que pour le gouvernement colonial l'irrigation a une importance capitale. Les grands travaux nécessaires pour aménager et conduire les eaux sont faits aux frais de l'État et dirigés par

lui. Une brigade spéciale d'ingénieurs est chargée d'étudier ces travaux et de les exécuter; des sommes considérables figurent pour cela chaque année au budget colonial.

Les canaux secondaires et les travaux de moindre importance ou de simple distribution sont à la charge des kampongs ou desjas (villages) indigènes qui profitent des irrigations; de cette manière la surface des terrains en culture s'accroît chaque année d'un grand nombre d'hectares.

Cependant, on ne s'est pas contenté d'utiliser autant que possible les eaux des rivières qui coulent à la surface du sol, et celles des réservoirs naturellement ouverts que constituent les grands lacs situés dans les parties élevées des îles; mais on a pensé au profit qu'on pourrait tirer des grands réservoirs et des cours d'eau souterrains. Un des prédécesseurs de M. Van Zuylen dans le service du génie militaire des Indes orientales s'était occupé, comme lui, de forages artésiens; il proposa au gouvernement de fertiliser les terrains incultes, où l'on ne pourrait, sans frais énormes, amener l'eau des rivières et des lacs, en établissant un système de puits artésiens à grandes dimensions. Un des ingénieurs en chef des travaux publics fut nommé en commission avec lui pour étudier ce système; leur rapport, qui est imprimé, et dans lequel l'irrigation par l'eau artésienne est étudiée sous toutes ses faces, notamment au point de vue de l'économie, était favorable au projet. Pourtant le gouvernement n'a pas approuvé cette entreprise, non seulement à cause des sommes énormes qu'il aurait fallu consacrer à l'exécution, mais aussi à cause de l'incertitude du succès des forages en dehors des bassins géologiques bien connus, même quand l'étude du sol a fourni des présomptions favorables.

L'orateur a cru devoir mentionner ce projet non exécuté, pour prouver que depuis longtemps déjà l'irrigation par tous les moyens possibles est à l'ordre du jour dans les possessions asiatiques des Pays-Bas, et aussi pour que le rapport de MM. Ermeling et Van Book soit connu du Congrès; il pourrait être consulté par les personnes qui s'intéressent à ces questions : M. Van Zuylen se ferait un plaisir de le leur procurer.

Pour terminer ce qui se rapporte aux irrigations coloniales, le gouvernement des Indes est dans une situation très avantageuse quant à la législation, parce que presque tous les terrains qui restent à cultiver sont, pour ainsi dire, des domaines de l'État. C'est à cause de cela que le déboisement et le reboisement peuvent être bien surveillés et bien dirigés. Depuis plusieurs années déjà, un service spécial d'hommes compétents, fonctionnaires de l'État, est chargé de ce service.

Quant aux irrigations dans les Pays-Bas d'Europe, c'est depuis quelques années seulement qu'on s'en occupe sérieusement. Si l'orateur est bien informé, quelques irrigations de faible importance existent dans les provinces d'Overyssel et de Drenthe; mais c'est en 1887, que la direction d'un des polders situés dans l'Over-Beteuve a compris que la partie orientale des

Pays-Bas pourrait mieux que tout autre tirer un grand profit d'une bonne irrigation. Elle a envoyé deux ingénieurs dans l'Europe centrale pour étudier l'état des choses dans les différents pays qui ont géographiquement et géologiquement le plus d'analogie avec le sien. Ces ingénieurs, MM. Van Hasselt et de Koning, ont fait un rapport très intéressant sur tout ce qu'ils ont vu et étudié; ce rapport, imprimé en 1888, figure dans les collections que l'Institut royal des ingénieurs à la Haye expose actuellement au Champ de Mars.

Le rapport de MM. Van Hasselt et de Koning traite, dans un premier chapitre, de l'irrigation en général : il expose les différents systèmes, leurs avantages et leurs inconvénients. Le second chapitre fait connaître la législation sur l'emploi des eaux dans les différentes contrées qu'ils ont visitées; il étudie ensuite spécialement les sociétés (Genossenschaften) ou syndicats qui existent en Allemagne, et les soins que prend le gouvernement de ce pays pour propager l'étude technique et pratique de l'irrigation dans l'instruction agricole.

Le troisième chapitre est entièrement consacré à l'objet principal du rapport lui-même, c'est-à-dire à une description détaillée et minutieuse de tous les travaux que ses auteurs ont vus et qu'il ont étudiés en Hanovre, dans la Prusse orientale et la Westphalie, dans les provinces du Rhin, dans le grand-duché de Bade, en Alsace et en Belgique.

Dans un quatrième et dernier chapitre ils formulent leurs conclusions et y joignent un projet d'irrigation pour la partie de leur pays en vue de laquelle leur avait été confiée une mission spéciale.

M. Van Zuylen croirait faire un travail incomplet et inutile en donnant quelques extraits du travail dont il vient de parler, qui forme un tout indivisible et dont les auteurs communiqueront certainement ce qui offre le plus d'intérêt aux congrès futurs, quand on le leur demandera. Cependant il tient à noter dès maintenant un point qui intéressera surtout les membres du Congrès actuel : c'est que plusieurs travaux d'irrigation décrits dans le rapport en question donnent des résultats financiers moins décourageants que ne l'indiquent les rapports présentés au Congrès sur les irrigations dans les autres pays de la zone tempérée.

Néanmoins les rapporteurs ci-dessus visés se sont montrés eux aussi très prudents dans leurs conclusions; après avoir fait ressortir les particularités, désavantageuses pour l'irrigation, que présentent les terrains des Pays-Bas à très faibles pentes, ils disent en terminant :

« Nous aurions voulu arriver à une conclusion plus ferme en faveur de « l'utilisation des eaux fluviales pour l'agriculture; mais la mise en pra- « tique de l'irrigation peut contribuer si efficacement au bien-être de toute « une contrée, et les résultats que nous avons pu observer sont, dans plu- « sieurs endroits, si importants que, malgré les difficultés à vaincre, tant « au point de vue financier qu'au point de vue administratif, difficultés si « grandes qu'on ne peut juger sans un examen sérieux si le résultat vau-

« dra ce qu'on aura dépensé, nous n'hésiterons pas à conseiller de payer « les frais d'une étude complète qui mettra en lumière pour notre pays, non « seulement toutes les difficultés, mais aussi les moyens propres à les « vaincre. »

L'ordre du jour de la séance suivante est ainsi fixé :
Discussion des rapports de MM. Barois et Rolland.

La séance est levée à 11 heures.

QUATRIÈME SÉANCE

Jeudi 26 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures du matin, sous la présidence de M. Gauckler.

La lecture du procès-verbal de la séance précédente est renvoyée au lendemain.

M. Loppens donne lecture d'une note sur l'épuration agricole des eaux vannes provenant du rouissage à l'eau courante du lin et du chanvre.

Communication de M. Loppens.

« Messieurs,

« Les applications de l'eau à l'industrie sont, sans contredit, celles où « sa valeur pécuniaire atteint son maximum; ce sont celles où le travail « humain retire la plus grande somme d'utilité d'un volume d'eau géné- « ralement restreint. On serait donc tenté de les encourager sans réserve « et de se réjouir de leur extension sans cesse croissante si, d'une manière « trop générale, l'industrie ne faisait un déplorable abus des bienfaits « dont elle est redevable aux cours d'eau. L'industriel semble trouver « naturel de rendre infectée l'eau qu'il a prise pure et d'empoisonner la « rivière qui le nourrit. Il se soucie peu de respecter les droits des popu- « lations d'aval. Il ne réfléchit pas qu'il sera victime à son tour de pro « cédés identiques, le jour où d'autres s'établiront à l'amont du point « qu'il occupe, pour y agir de même, et que ces procédés barbares appau- « vrissent son pays tout entier par la destruction d'une richesse gratuite, « le poisson, par les germes d'insalubrité qu'ils développent, par la « diminution considérable de la somme des usages auxquels les eaux de « la rivière pourraient servir sur leur parcours entier, si chacun de ceux « qui les emploient au passage respectait leur pureté naturelle.

« Nul ne conteste la gravité des abus que nous signalons. Les législa- « teurs des différents pays l'ont comprise et n'ont pas laissé les autorités « désarmées vis-à-vis de ceux qui les commettent. Malheureusement, deux « motifs principaux s'opposent à ce que les lois répressives en cette « matière soient appliquées strictement : l'industrie traverse une crise

« pénible, la place qu'elle occupe parmi les facteurs de la prospérité natio-
« nale est trop importante pour que les autorités ne croient de leur devoir
« d'éviter toute mesure qui tendrait à l'entraver sans nécessité absolue.

« D'autre part, il faut bien le reconnaître, les intérêts particuliers des
« industriels sont beaucoup mieux représentés et plus ardemment
« défendus au sein des parlements et près des autorités diverses que les
« intérêts généraux de la nation.

« Mais la gravité de la situation augmente incessamment et l'on com-
« mence à s'en rendre compte d'une manière plus nette et plus géné-
« rale. Aussi les recherches des inventeurs se portent-elles de plus en
« plus vers les moyens d'épuration des eaux polluées. Deux catégories
« de procédés sont actuellement en présence : les procédés chimiques
« et les procédés physiologiques ; les systèmes de précipitation artifi-
« cielle des impuretés, et ceux de purification naturelle par le sol
« cultivé. Les premiers sont généralement coûteux et peu efficaces pour de
« grands volumes ; les seconds applicables seulement aux eaux favorables
« à la végétation sont d'une application très difficile dans le voisinage
« des agglomérations.

« Le problème est donc loin d'être résolu, sauf dans quelques cas par-
« ticuliers où, par un concours heureux de circonstances, un travail
« d'épuration relativement aisé et peu coûteux permet à celui qui l'opère
« de tirer un parti avantageux des matières polluantes.

« Parmi les industries favorisées où l'épuration des eaux vannes peut
« se faire d'une manière à la fois efficace et avantageuse, aucune, croyons-
« nous, ne se présente dans des conditions aussi favorables que le *rouis-*
« *sage du lin et du chanvre*. — Vous trouverez probablement, Messieurs,
« que je m'engage ici dans un sujet bien spécial, alors que vous tenez à
« juste titre à conserver un caractère d'intérêt général aux questions
« qui doivent vous occuper dans ce Congrès. Il n'en est ainsi qu'en appa-
« rence. Dans presque tous les pays de l'Europe la culture du lin et du
« chanvre a occupé de temps immémorial une grande place parmi les plus
« rémunératrices. Son importance, sauf pour la Russie, a considérable-
« ment diminué depuis cinquante ans. Cette diminution, qui a produit
« bien des conséquences fâcheuses, a sa cause principale, d'après nous,
« dans la défectuosité du rouissage et cessera sans nul doute avec elle.

« Le rouissage, c'est la transformation et la destruction de la matière
« gommo-résineuse qui enrobe les fibres textiles et les agglutine entre
« elles et avec le bois. En pratique, cette destruction s'obtient par l'ac-
« tion des agents naturels : l'atmosphère et l'eau. De là deux catégories
« de rouissages : le rouissage sur terre, ou *à la rosée*, et le rouissage à
« *l'eau*. Celui-ci se divise en deux procédés bien distincts : le rouissage à
« l'eau stagnante, ou en *fosse*, et le rouissage à l'eau courante, ou *en rivière*.
« Ce dernier système est le seul qui conserve à la fibre toutes ses qualités :
« couleur, régularité et force. Malheureusement il n'est que très peu

« employé et n'est appliqué en grand que sur la Lys, où les filasses spé-
« ciales qu'il fournit sont réservées aux tissus de luxe. Pour donner une
« idée de l'importance du mode de rouissage, nous dirons seulement que
« l'adoption générale du rouissage à l'eau courante en Europe aurait pour
« conséquence, au bas mot, de *doubler* la valeur totale de la filasse pro-
« duite annuellement, c'est-à-dire que la moitié des récoltes de lin de
« l'Europe est perdue, nous pourrions dire « gâchée », par les rouissages
« défectueux. Il en est à peu près de même pour le chanvre.

« Dès lors on se demande pourquoi le rouissage à l'eau courante ne se
« développe pas, et même pourquoi il ne supplante pas complètement les
« deux autres procédés. Il y a à cela d'abord des raisons techniques
« que je ne pourrais exposer ici sans sortir complètement du sujet que je
« veux traiter devant vous. Mais la raison principale, c'est que le rouis-
« sage à l'eau courante occasionne une pollution intense des cours d'eau où
« il s'exerce, et que les autorités se voient forcées de l'interdire d'une
« manière générale.

« Mais n'existe-t-il aucun système de rouissage qui vaille le rouissage à
« l'eau courante et n'en présente pas les graves inconvénients? Il y a
« mieux, le rouissage à l'eau courante lui-même, le meilleur procédé
« connu, est possible en dehors des cours d'eau, et nous montrerons qu'il
« offre tous les avantages du rouissage en pleine eau sans en avoir les
« inconvénients.

« Le rouissage à l'eau courante, en bassins, est connu depuis longtemps.
« Il a reçu quelques applications en France, en Italie, en Allemagne. S'il
« ne s'est pas étendu davantage, cela tient à deux raisons. La première,
« c'est qu'il n'est économique que lorsqu'on dispose d'une chute suffisante
« pour assurer la circulation de l'eau dans les bassins sans être forcé de
« la pomper, ce qui est rare. La seconde, c'est qu'on ne s'est jamais
« préoccupé de l'épuration des eaux vannes. On a toujours accepté la pol-
« lution des cours d'eau comme inévitable, alors que la séparation des
« eaux utilisées, impossible pour le rouissage en lit de rivière, se produi-
« sait naturellement pour les bassins et devait attirer l'attention sur la
« possibilité d'une épuration.

« Cette possibilité est à présent certaine par l'emploi de ces eaux à
« l'irrigation, ou mieux à *l'arrosage*, car la hauteur d'eau à déverser sur
« les terres irriguées pendant six mois d'été atteint la faible valeur totale
« de 250 millimètres (soit 0 litre 162 millilitres par seconde et par hec-
« tare, moyenne d'un écoulement continu pendant 180 jours). Ces
« faibles quantités d'eau par hectare seront imposées par leur richesse
« extraordinaire. Pour le lin elles contiendront, au minimum, par mètre
« cube une valeur d'engrais de 17 centimètres 7 (soit : 48 grammes
« azote ammoniacal et organique facilement décomposable; 138 grammes
« potasse, et 68 grammes acide phosphorique dissous). Les chiffres seront
« sensiblement les mêmes pour le chanvre.

« Je me résume, Messieurs, pour ne pas abuser de votre patience. Le lin « et le chanvre sont, pour presque tous les pays européens, deux textiles « indigènes précieux. — Le rouissage est l'une des opérations industrielles « nécessitées par leur mise en œuvre. — L'influence du rouissage sur la « valeur de la filasse est prépondérante. Il est conséquemment désirable « d'appliquer autant que possible le meilleur système de rouissage, qui « est celui à l'eau courante. — D'un autre côté, la tige du chanvre et « du lin contient de notables quantités de matières fertilisantes qui ne « participent nullement à sa valeur commerciale; la filasse se vend seule « et la presque totalité de ces engrais restent dans les eaux du rouissage. « Il est donc très désirable aussi d'utiliser ces engrais, au lieu de les « perdre, et surtout de ne pas empoisonner les cours d'eau par leur pré- « sence.

« Un seul système jusqu'ici permet de satisfaire à toutes ces condi- « tions ; le rouissage à l'eau courante, en bassins, applicable partout où « l'on dispose d'un filet d'eau non ferrugineuse ni trop calcaire, permet « d'obtenir la meilleure filasse possible par l'application de cette eau à un « lin donné. Ce système permet de ne rien perdre des engrais abandonnés « par les plantes rouies, et de respecter absolument le cours d'eau alimen- « taire. Il permet, en un mot, de réaliser l'utilisation idéale de l'eau dont « il se sert, car il retire de cette eau le maximum d'effet utile industriel, « tout en l'amenant à une haute valeur fertilisante, et finalement, il « tire complètement parti des précieuses propriétés tant naturelles que « communiquées de l'eau empruntée, en même temps qu'il assure son « retour au cours d'eau alimentaire, après filtration à travers le sol, dans « un état de pureté irréprochable. »

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion du rapport de M. Barois sur l'aménagement des cours d'eau au point de vue agricole et industriel. (Voir ce rapport, page 141.)

M. Barois fait un résumé succinct de son rapport sur les travaux d'irrigation exécutés en Égypte; il y montre ce qu'on a pu faire, dans un cas tout spécial, pour l'aménagement des eaux d'un grand fleuve. La question des irrigations présente de grandes difficultés; les travaux doivent répondre, dans chaque région, à des besoins agricoles nettement définis qui varient avec le climat, l'altitude, la nature du sol et la qualité des eaux : ce sont là autant de facteurs de l'utilité des irrigations.

En Égypte, par exemple, où l'eau est rare, les irrigations font toute la richesse du pays.

M. Cotard a préconisé la construction des réservoirs contre les inondations, et M. Lindley est d'un avis opposé! Il faut se garder d'émettre des assertions générales; chaque cas particulier se prête à une solution spéciale et l'orateur pense que si l'emploi de réservoirs dans un pays très

peuplé peut présenter des difficultés sérieuses à cause des grandes étendues de terrain nécessaires à leur construction, il est au contraire tout indiqué dans le désert où ces difficultés disparaissent. Une question générale se pose dans tous les cas : c'est celle des voies et moyens nécessaires pour l'établissement des travaux d'irrigation. On a constaté que jusqu'ici les sociétés qui risquent des capitaux dans les affaires de ce genre se ruinent généralement, bien que cependant les irrigations assurent la richesse du pays. Il est donc nécessaire que les grands travaux d'irrigation soient exécutés par l'État. L'orateur fait remarquer que si le gouvernement prend la direction des travaux de navigation, à plus forte raison doit-il intervenir dans ceux d'irrigation, car il ne peut abandonner à des sociétés industrielles la prospérité du pays. En parlant ainsi, M. Barois n'envisage que la question des grands travaux; quant à ceux de minime importance, il est d'avis de les laisser exécuter par des syndicats de propriétaires intéressés.

Il cite comme exemple les Indes où deux grandes entreprises d'irrigations confiées à des sociétés ont échoué et ont dû être reprises par le gouvernement pour être menées à bonne fin ; et cependant on ne peut accuser les Anglais de vouloir étouffer l'initiative privée. Il en est de même en Égypte ; le fait qui caractérise l'irrigation égyptienne, c'est la part considérable que prend l'autorité gouvernementale dans l'exécution et l'entretien des ouvrages et dans la distribution des eaux. Dans cette contrée, le système d'irrigation est tout à fait simple, grâce à la régularité de la crue du Nil. Les eaux de la crue sont emmagasinées dans les bassins d'inondation, elles y séjournent de 50 à 60 jours, et c'est seulement lorsqu'elles se sont écoulées qu'on commence à semer la récolte unique que porte annuellement la terre et qui atteint sa maturité au printemps.

Le système des bassins d'inondation, aussi ancien que l'Égypte, est simple, il est vrai, mais il ne permet qu'une culture restreinte. La véritable culture, la culture scientifique, c'est la culture par l'irrigation qui assure en toute saison l'eau nécessaire à la terre, surtout pendant l'étiage, et qui permet de faire produire au sol toutes les plantes que le climat comporte; elle n'a commencé qu'à une époque relativement récente, mais elle a pris un grand développement dans ces dernières années.

L'aménagement des eaux du Nil pour l'irrigation repose surtout sur l'emploi des grandes dérivations à fort débit ; ainsi, le canal Ibrahimieh porte 50 mètres cubes en étiage, il est disposé de manière à assurer trois services distincts :

1° Il donne pendant l'étiage et pendant la crue l'eau d'irrigation à une bande de 260 kilomètres de longueur sur 3 à 6 kilomètres de largeur réservée à cet effet au bord du Nil et qui, séparée du fleuve par une digue insubmersible, est encore isolée de l'autre côté par une seconde digue semblable, d'une chaîne de bassins d'inondations qui règne tout le long du coteau parallèlement à la zone irriguée ;

2° Il porte, pendant la crue, l'eau d'inondation dans des bassins qui représentent une superficie de 170 000 hectares;

3° Par l'intermédiaire d'un ancien cours d'eau, le Bahr-Youssef, il envoie les eaux d'inondation au Fayoum.

L'orateur signale enfin l'importance du grand barrage de la pointe du Delta, qui est destiné à commander directement l'irrigation de tout le delta du Nil, au moyen de 3 grands canaux, sur une superficie de 1 007 000 hectares.

En ce qui concerne la réglementation du cours du Nil dans le but de diminuer le débit des crues et d'augmenter le débit d'étiage, deux projets intéressants ont été mis en avant, le premier consiste à fermer le Nil au défilé de Djebel-Sélséleh, à 45 kilomètres au nord d'Assouan, de façon à convertir en réservoir la vaste plaine de Koum-Ombos, aujourd'hui inculte, qui a 1400 milions de mètres carrés et où l'on pourrait emmagasiner 7 milliards de mètres cubes. Le deuxième projet moins colossal présenté par un Américain, M. Cope Whitehouse, consisterait à utiliser une grande dépression située dans le désert au voisinage du lac Mœris, et dont le fond est à 40 mètres au-dessous du niveau de la mer; l'étude de ces projets s'imposera tôt ou tard au gouvernement égyptien.

M. Lindley demande quelle serait l'influence de ces réservoirs sur le régime actuel des cultures par inondations.

M. Barois répond que l'exécution des réservoirs amènerait vraisemblablement la disparition progressive de la culture par inondation; le but à atteindre serait d'arriver à une alimentation constante de 3 à 400 mètres cubes à dériver d'une manière continue sur l'Égypte.

M. Vauthier se rallie en général aux conclusions de M. Barois; mais il conteste ce point que les entreprises d'irrigation puissent se traiter comme des affaires industrielles contrairement à la seconde de ces conclusions.

M. Barois lui-même, à la page 143 de son texte, en donne excellemment les motifs. L'eau destinée à l'irrigation n'est pas une marchandise que tous les acheteurs peuvent prendre, mais seulement les propriétaires compris dans la zone irrigable. Il y a là un fait de monopole couvert par la législation. Pour que la conclusion de M. Barois fût exacte, il faudrait mettre la législation en rapport avec les conditions techniques de l'irrigation.

L'orateur fait ressortir, en s'appuyant sur l'article 544 du code civil, en citant le code forestier, et en montrant l'insuffisance des syndicats, que la loi actuelle ne permet pas l'intervention active de l'administration publique dans les questions de propriété. Il y a nécessité de créer un code spécial des irrigations; ce serait au Ministère de l'agriculture d'en prendre l'initiative.

Quant à la septième conclusion de M. Barois, relative à l'inutilisation des forces motrices, M. Vauthier croit que l'administration en est responsable, dans une large mesure, en ce qui touche les rivières canalisées, par suite des conditions tracassières qu'elle met à l'aliénation des chutes d'eau

en faveur de l'industrie; mais cette raison est loin d'être la seule, car l'irrégularité des débits entre aussi dans cette inutilisation pour une forte part.

M. Cotard appuie l'opinion de M. Vauthier sur ce point : la question de législation est capitale. Mais il y aurait danger, suivant lui, à faire agir le législateur avant que la question technique ait été complètement élucidée. C'est ainsi que le code rural, actuellement délibéré par le Parlement, n'apporte pas une grande amélioration à la situation, faute d'avoir été mûrement préparé par des discussions techniques.

Aussi les ingénieurs doivent-ils chercher à établir la doctrine des irrigations avant de faire appel au législateur.

M. le Président répondant à M. Vauthier cite des exemples d'utilisation de force motrice dans le Haut-Rhin. Il ajoute que souvent les essais de ce genre, ne réussissent pas parce que les populations sont anti-industrielles et que l'élément ouvrier indispensable fait défaut.

M. Nouailhac-Pioch appelle la bienveillante attention du Congrès sur le delta du Rhône, delta beaucoup moins vaste que celui du Nil dont vient de parler M. l'ingénieur en chef Barois, mais qui ne laisse pas d'être aussi fort intéressant au point de vue de l'utilisation générale des eaux fluviales.

M. Nouailhac-Pioch rappelle que, depuis le Comité de salut public qui le premier s'est occupé de l'amélioration du delta du Rhône, l'administration n'a cessé de témoigner son intérêt à cette région déshéritée et notamment dans l'île de la Grande Camargue, comprise entre les deux bras du fleuve, en poursuivant la réalisation d'un programme progressif d'aménagement hydraulique rationnel.

Ce delta d'une superficie totale de 142 000 hectares environ, dans laquelle entre pour 72 000 hectares la Grande Camargue, est comme le delta du Nil, un sol d'alluvions formé par les dépôts successifs du fleuve.

On a mis ce sol à l'abri des incursions du Rhône, qui dans ses grandes crues ravageait les récoltes et noyait les hommes et les bestiaux. Les chaussées élevées depuis des siècles par les habitants, pour se défendre individuellement, ont été exhaussées, régularisées et complétées avec le secours de l'État, et sont entretenues par le syndicat général des propriétaires.

L'État a exécuté depuis 1856 l'endiguement contre la mer dans la Camargue seulement. Cette île est maintenant un véritable polder, ou mieux, un chott. Près de 30 000 hectares sont maintenant à sec à plus d'un mètre au-dessous du niveau de la mer, grâce à l'active évaporation diurne qui fait de l'étang de Valcarès et des étangs inférieurs une sorte de machine d'épuisement.

L'endiguement général exécuté, on s'est préoccupé de se débarrasser des eaux sauvages qui s'accumulent et croupissent dans les bassins ou vals,

situés entre les atterrissements des anciens lits abandonnés par le Rhône dans ses divagations.

Pour cela, l'État et le département des Bouches-du-Rhône ont exécuté trois grands canaux de dessèchement qui conduisent les eaux d'égouttement dans le Valcarès. Des syndicats de propriétaires exécutent les réseaux des canaux secondaires avec subvention de l'État et du département.

Le sol du delta, égoutté par ces canaux, bientôt desséché par le soleil, est envahi par le sel qui remonte à la surface par capillarité et détruit toute végétation.

Pour rendre à cette contrée la fécondité latente qu'elle possède comme toutes les alluvions fluviales, il faut l'irriguer, la submerger, la drainer, l'égoutter, en un mot la délaver méthodiquement pour en chasser le sel marin.

M. Nouailhac-Pioch rappelle qu'il a proposé en 1882 et 1883 un projet d'aménagement général des eaux du fleuve destiné à combler cette lacune qui existe dans l'amélioration progressive du delta. Il a proposé de faire construire: 1° deux barrages mobiles éclusés à vannes de fond du système de M. Cameré, permettant de maintenir d'une manière permanente le niveau des eaux du fleuve au niveau moyen de ses fluctuations soit à 3 m. 50 au-dessus du niveau de la basse mer de Marseille; 2° quatre canaux latéraux aux chaussées de défense dérivant les eaux à l'aval des deux barrages jusqu'à la mer. La dépense serait de 15 millions de francs.

Ces deux barrages placés l'un sur le grand Rhône à 18 kilomètres en aval de la pointe de l'île, l'autre sur le petit Rhône à une trentaine de kilomètres en aval du même point, permettront de départager les eaux entre les deux branches dans les proportions que l'on voudra. — Toutes les roubines dont les prises seront sur le périmètre mouillé du remou et qui seront rencontrées par les canaux de dérivation seront alimentées d'une manière continue et permettront d'arroser, submerger, dessaler, colmater les cent vingt mille hectares situés au-dessous de la cote 3 m. 50.

Au point de vue de l'utilisation commerciale des eaux, cet aménagement du Rhône maritime aura pour conséquence de donner 5 mètres de tirant d'eau minimum d'Arles à la mer sur le grand Rhône et 2 mètres sur le petit Rhône. M. Nouailhac-Pioch exprime le regret que M. l'inspecteur général Jacquet ne soit pas présent à la séance de la première section du Congrès pour qu'il puisse venir dire de sa voix autorisée combien cette solution par barrages éclusés si discutable pour le Rhône entre Lyon et Arles au point de vue de la navigation, est désirable d'Arles à la mer, au double point de vue de la navigation et de l'amélioration du Delta.

Au point de vue de l'utilisation industrielle des eaux fluviales, ce projet d'aménagement créera une force d'au moins 10 000 chevaux-vapeur dont une part pourra être conduite par un canal de dérivation approprié en un point de l'intérieur du delta pour y actionner une usine élévatoire de secours destinée à compléter le dessèchement des colatures assuré jusqu'à présent par l'évaporation diurne des étangs inférieurs.

M. le Président rappelle qu'étant en Camargue il y a une trentaine d'années, il a pu constater que l'île se divise en deux parties : l'une très fertile, l'autre infertile où seules les plantes grasses résistent à l'action du sel. Pour rendre la fertilité à cette contrée il faudrait dessaler le terrain au moyen de submersions prolongées.

M. Barois fait remarquer qu'en Égypte on rencontre des terrains salés comme dans la Camargue, mais qu'on remédie à cet inconvénient par des lavages et en assurant un débouché aux colatures.

M. Bouffet cite également le delta de l'Aude qui se trouve dans la même situation. On se débarrasse du sel par des drainages ; mais pour que cette opération soit efficace, il faut rapprocher les drains à une distance moyenne de 2 mètres environ ; on parvient ainsi à rendre cultivables en vignes au bout de trois ans des terrains à 1 mètre au-dessus du niveau de la mer.

M. Barois ajoute qu'en Égypte on réussit également à dessaler les terrains au moyen de la culture du riz qui exige beaucoup d'eau.

M. de Llaurado cite le dessalement de terrains du delta de l'Èbre qu'on a obtenu au moyen de plantations de riz et du colmatage par les eaux du fleuve ; on a pu ainsi assainir certaines parties très basses et très malsaines de ce delta.

M. Nouailhac-Pioch termine en ajoutant qu'en Camargue depuis plus de cinquante ans on cultive les rizières comme moyen de dessalement et comme assolement du blé. Dans les terrains peu salés, les plus hauts de l'île, les paysans se contentent de répandre des roseaux coupés pour atténuer la montée du sel et sauver la semence tant qu'elle n'est pas sortie de terre. — Il pense que les rizières, les submersions antiphylloxériques des vignes, les submersions fertilisantes d'hiver, les drainages et les colmatages sont les meilleurs moyens pour rendre au sol actif du delta du Rhône sa fécondité latente.

M. Cotard donne lecture d'une lettre et d'un vœu formulé par la société des agriculteurs de France :

SOCIÉTÉ DES AGRICULTEURS DE FRANCE.

Paris, le 1er juillet 1889.

A M. Cotard, Ingénieur.

Monsieur et cher Collègue,

« La sixième section considérant que vous avez à préparer un rapport « sur l'avenir des canaux d'irrigation, pour le Congrès de l'utilisation des « eaux, a cru bien faire en adoptant un vœu qui résume toutes les com- « munications ou discussions ayant eu lieu dans son sein.

« J'ai l'honneur de vous adresser une copie de ce vœu, et nous serons « trop heureux si nous pouvons participer ainsi à l'avancement de cette « question qui est d'un intérêt vital pour l'agriculture.

Recevez, je vous prie, la nouvelle expression de mes sentiments les meilleurs et les plus dévoués.

Le président de la 6e section.

Signé : Cte de Salis.

VŒU ÉMIS PAR LA 6e SECTION EN FAVEUR DE LA PROMPTE EXÉCUTION DES CANAUX D'IRRIGATION.

« La section du génie rural de la société des agriculteurs de France a, « depuis de longues années, étudié et discuté les questions concernant « l'aménagement des eaux sous les formes les plus variées et les plus gé- « nérales.

« Elle a toujours été d'avis et reconnaît de plus en plus que la question « des moyens de transport (routes, chemins de fer, canalisation des rivière- « res, etc.), étant aujourd'hui arrivée à un degré de perfectionnement « suffisant pour les besoins d'ensemble de l'agriculture, les efforts doivent « maintenant se concentrer en majeure partie sur l'aménagement des « eaux notamment au point de vue agricole.

« C'est pour ainsi dire le seul moyen de salut et de relèvement de l'agri- « culture.

« Mais l'aménagement des eaux ne doit pas être laissé au caprice des « entreprises individuelles.

« En effet, il s'agit d'un vaste ensemble d'opérations ; il faut prendre « l'eau dès la montagne, la dévier à toutes les hauteurs en lui faisant « suivre les sinuosités du sol, et créer ainsi des réseaux successifs de « canaux d'irrigations se ramifiant depuis la montagne jusque dans la « plaine. En cas de sécheresse, c'est la pluie, mise pour ainsi dire à la dis- « position du cultivateur; au contraire, en cas d'excès d'abondance d'eau, « c'est l'écoulement rapide largement ouvert et prévenant le fléau des « inondations.

« Il est clair que pour arriver à un tel résultat, il faut tout d'abord dres- « ser un plan général, puis descendre successivement aux divers détails, « en s'arrêtant aux grandes lignes des travaux concernant les particuliers. « En effet ces derniers ne doivent pas détruire l'harmonie du plan d'en- « semble. Il y a là une certaine analogie avec ce qui se passe pour les « villes, villages et lieux en bordure sur des routes; rien ne doit être fait « sans avoir demandé et obtenu l'*alignement*.

« Toutefois il serait bon que les prescriptions à intervenir fussent con- « çues de telle sorte que l'initiative individuelle pût encore se mouvoir « dans de larges limites.

« *En résumé*, la section du Génie rural émet le vœu que les pouvoirs « publics veuillent bien : 1° s'intéresser à la question de l'aménagement « des eaux, et 2° intervenir de la façon la plus large tant comme fixation « du plan d'ensemble que comme concours financier, en vue d'arriver à la « prompte exécution des canaux d'irrigation et de transports économiques « indispensables à l'agriculture.

Le président de la section du Génie rural.

Pour copie conforme, l'un des secrétaires.
Signé : J. MORANDIÈRE.

M. Rolland fait un résumé succinct de son rapport sur l'utilisation des eaux artésiennes du bas Sahara algérien (voir ce rapport, page 97).

Il n'a pas la prétention de transformer tout le Sahara en région cultivable par les sondages et les plantations de palmiers dattiers, mais il maintient qu'un hectare complanté en palmiers dattiers, à raison de deux cents palmiers par hectare, peut rapporter annuellement 1000 francs. — Planter un hectare de palmiers c'est donc créer, au taux de capitalisation de 10 pour 100, une valeur de 10 000 francs; si l'on évalue à 5 000 francs le montant des dépenses de premier établissement et d'entretien, on voit que par ce moyen on pourrait arriver, dans les régions colonisables du bas Sahara algérien et tunisien, à augmenter la valeur de cette partie du sol de 100 millions.

Toute oasis occupe un emplacement dont le sol peut être irrigué ; car sans eau, en raison de la sécheresse de l'atmosphère au Sahara, il est impossible au palmier de produire, ni à aucune culture de prospérer.

Les oasis se divisent en plusieurs types : l'oasis de rivière, l'oasis à puits ordinaires, l'oasis d'excavation, l'oasis à sources artésiennes et l'oasis à puits artésiens jaillissants.

Les plus prospères sont celles où l'on dispose d'eaux souterraines à débit constant et où l'on n'a pas besoin de puiser l'eau pour les irrigations; ce sont les oasis à sources artésiennes naturelles et les oasis à puits artésiens jaillissants. On se figure difficilement la quantité d'eau nécessaire au Sahara pour la prospérité d'un hectare de palmiers. Il résulte des observations faites par M. Jus ainsi que des observations personnelles de l'orateur qu'une irrigation de 30 centilitres par palmier et par minute est une bonne moyenne.

Mais irriguer le palmier ne suffit pas; le mal naît parfois de l'excès du bien, et il arrive quelquefois dans les oasis sahariennes qu'une trop grande surabondance d'eau devient nuisible à la salubrité ainsi qu'à la végétation; aussi importe-t-il, dans toute oasis irriguée à grande eau, de drainer le terrain au moyen de fossés.

M. Rolland, après avoir passé en revue les principales nappes artésiennes décrites dans son rapport, conclut ainsi : La sonde artésienne est notre meilleure arme de conquête dans le Sahara; c'est avec elle qu'il faut marcher, c'est elle qui doit précéder le chemin de fer sur la route transsaharienne.

M. de Llaurado demande à M. Rolland si les sondages sont faits à une grande distance l'un de l'autre, et quelle est la distance d'influence, sur un puits voisin, au point de vue du débit.

M. Rolland répond que cela dépend absolument des terrains; dans les bassins artésiens bien fournis, on peut forer un puits sans influencer le débit du puits voisin si l'on en reste à plus de 1 ou 2 kilomètres.

M. Van Zuylen cite le bassin de Batavia, où il a cru remarquer que la nappe artésienne contient une certaine quantité d'eau utilisable, mais que

l'on ne doit pas dépasser, car alors chaque puits nouveau influe sur le rendement des autres.

M. Rolland répond qu'à son avis, c'est plutôt la distance qui influe que la quantité d'eau puisée.

M. Noel fait remarquer que pour l'alimentation d'un bassin à Bordeaux on a construit trois puits artésiens et qu'il en est résulté une réduction presque totale du débit d'autres puits forés, à 3 ou 4 kilomètres ; il en déduit que si la nappe d'eau est grande, le percement d'autres puits ne peut être nuisible, et que le contraire a lieu si la nappe d'eau est restreinte.

M. Lindley estime que pour éviter les mécomptes dans les forages de puits, il faudrait pouvoir déterminer la surface alimentaire de la nappe artésienne et la quantité de pluie tombée annuellement; si l'on prend une quantité plus grande que celle qui se renouvelle annuellement, on arrivera bientôt à l'épuisement ; ce n'est donc pas une question de distance, c'est une question de quantité.

M. Deligny fait remarquer qu'on peut régulariser le débit des puits artésiens par un tubage supérieur au niveau du terrain ; le fait a été constaté pour les puits de Grenelle et de Passy.

En creusant des puits à des profondeurs inférieures on arrive à diminuer la pression et à restreindre le débit des puits supérieurs.

L'ordre du jour de la prochaine séance est ainsi fixé : Discussion des rapports de MM. Lindley et Bechmann.

La séance est levée à onze heures un quart.

CINQUIÈME SÉANCE

Vendredi 26 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures un quart sous la présidence de M. Gauckler.

Les procès-verbaux des deux séances précédentes sont lus et adoptés.

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Lindley sur l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau (voir ce rapport, page 33) et dont l'auteur développe verbalement les conclusions.

M. Lindley s'occupe, en particulier, de la filtration des eaux fluviales, qui est presque partout nécessaire pour que l'on puisse les utiliser dans l'alimentation des villes. Les plus grands cours d'eau peuvent donner des eaux potables, quoi qu'en disent les médecins, qui sacrifient tout à la perfection hygiénique des eaux et accusent les ingénieurs de prendre toujours l'eau au plus près dans la rivière. Il faut que la prise soit faite avant les endroits où l'eau est exposée à la pollution : en remontant vers les montagnes, on gagne en qualité, mais on augmente la dépense. Il est regrettable que le nombre de microbes par centimètre cube serve seul d'argument, lors des discussions entre médecins et ingénieurs, dans les assemblées délibérantes. L'alimentation mixte, en eaux de source et de rivière, a formé un terrain de transaction : c'est un danger, d'après l'orateur, car l'attention des administrateurs se trouve ainsi détournée des moyens propres à maintenir la pureté des eaux de rivière. Les eaux de source sont les moins abondantes en été, quand les besoins sont les plus grands; la courbe de leurs débits a généralement son minimum quand celle de l'alimentation atteint son maximum; le rapport en donne un exemple. De là, nécessité de recourir à des sources artificielles.

Le choix de la prise d'eau en rivière est très important, cela va sans dire. Mais la purification est presque toujours nécessaire. Elle doit être faite avant la distribution, pour assurer la régularité de celle-ci : l'expérience faite à Hambourg en a donné la preuve. Il y a deux opérations à effectuer : la décantation et le filtrage. A Francfort-sur-le-Mein, la décantation élimine en six heures 90 pour 100 des matières en suspension dans

l'eau, par les procédés décrits dans le rapport de l'orateur. Quant aux filtres, on pourrait écrire un volume à leur sujet, et une grosse brochure pour donner la liste des brevets dont ils font l'objet. M. Lindley n'en a pas parlé en détail; car, selon lui, le Congrès ne doit s'occuper que de systèmes passés dans la pratique courante. Un grand progrès a été réalisé par le ralentissement du filtrage; au lieu de 6 ou 7 mètres cubes par mètre carré en vingt-quatre heures, on est descendu jusqu'à 2 ou 3 mètres. Il est essentiel aussi de recouvrir les filtres par des voûtes, malgré l'accroissement de dépense qui en résulte.

L'orateur insiste sur l'importance de la vase filtrante : le sable n'est pas le vrai filtre, ce sont les matières fines déposées à sa surface qui assurent le succès de l'opération. On constate que les filtres récemment nettoyés purifient les eaux moins bien que ceux dont l'usage est plus ancien. Il y aurait à examiner si, pour améliorer le fonctionnement des filtres neufs, on ne devrait pas chercher une matière floconneuse, inorganique, propre à en garnir la surface.

L'orateur conclut que les rivières peuvent contribuer très convenablement à l'alimentation des villes, lorsque l'économie le conseille. Il laisse de côté tout ce qui est relatif à l'élévation par des machines, affaire d'ingénieur-mécanicien; dans les distributions d'eau de rivière, il a voulu étudier seulement ce qui concerne la qualité.

M. Bechmann approuve beaucoup la manière de voir de M. Lindley. Il distingue dans son rapport deux parties, l'une relative au choix d'un mode d'alimentation, l'autre concernant les procédés du filtrage.

En France, comme en Allemagne, de longues discussions sur la qualité des eaux ont eu lieu entre les hygiénistes, qui ne retranchent rien de leurs principes absolus, et les ingénieurs dont l'art doit se plier davantage aux circonstances, comme leur nom l'indique. Dans un livre publié l'année dernière sur cette question, M. Bechmann est arrivé à la même conclusion que M. Lindley, quant à l'utilité de se servir des rivières pour les distributions d'eau, dans certains cas bien choisis : il est heureux de s'être rencontré avec lui. La pollution des eaux de rivière devrait d'ailleurs être prohibée : la législation des eaux serait à réformer en général, et tous les orateurs du Congrès ont paru d'accord là-dessus. La double alimentation, admise par M. Lindley, est souvent à recommander dans les conditions spécifiées par le préopinant, c'est-à-dire à la condition qu'elle ne soit pas étendue jusqu'à l'intérieur des maisons, où deux natures d'eau différentes ne seraient généralement pas bien distinguées l'une de l'autre. D'ailleurs, à Paris, la hauteur des maisons empêcherait souvent d'alimenter les étages supérieurs en eau de rivière, car sa pression baisse dès qu'on ouvre les bouches de lavage sur la voie publique, aux environs : mais c'est un cas particulier.

En second lieu, l'orateur remercie M. Lindley de ses renseignements sur les filtres, peu connus en France où l'on n'en fait guère. Il insiste sur

la combustion chimique dont le filtre est le siège, qui a été indiquée par M. Lindley; elle diminue le nombre des microbes. L'aération du filtre a une grande importance; on le voit par une expérience qui est en cours à l'usine de Clichy, concurremment avec les irrigations de Gennevilliers à l'eau d'égout. Une boîte, dont la section horizontale est un carré de 0 m. 20 de côté, renferme du sable de la plaine sur 2 mètres de hauteur; depuis quelque dix ans on y verse tous les matins un litre d'eau d'égout; il n'y a jamais eu de nettoyage, et cependant la filtration s'opère toujours, car l'air passe après l'eau, et les matières organiques subissent une véritable combustion.

M. Noël donne des renseignements sur la purification des eaux par le fer, à Anvers. Cette ville est alimentée par les eaux de la Nèthe, soumises à la marée, et d'odeur insupportable. Des filtres en fer spongieux n'ont pas d'abord donné de bons résultats, car l'oxyde de fer les engorgeait. M. Anderson s'est servi du fer lui-même, mis en mouvement au lieu d'être immobilisé. Une série de tonneaux, qui renferment des aubes, peuvent tourner autour d'axes convenablement disposés, et reçoivent des morceaux de fer ou de fonte. L'eau jaunâtre y arrive d'un côté : elle sort rouge à l'autre extrémité, chargée de rouille par l'oxydation du fer; l'oxygène qu'elle renfermait a diminué. On la ventile alors dans un fort courant d'air : elle reste vingt-quatre heures dans un bassin de décantation, et de là va au filtre, presque claire, mais renfermant encore un peu de rouille qu'elle y dépose en couche très mince. M. Noël a mis en expérience deux filtres semblables, composés de briques, puis de gravier sur 0 m. 20 de hauteur, et enfin de 0 m. 40 de sable. Par filtration directe l'eau sort limpide, mais avec un goût vaseux qu'elle n'a pas lorsqu'elle a passé par l'appareil Anderson. Les micro-organismes se trouvent diminués de 65 pour 100; l'orateur donne des extraits de certificats délivrés à ce sujet par des chimistes éminents de Louvain et Liège.

M. Loppens confirme les renseignements donnés par M. Noël et insiste sur le rôle de la mince couche gélatineuse observée sur les filtres d'Anvers; elle lui semble réaliser le desideratum indiqué par M. Lindley. L'eau la traverse par osmose.

M. Deligny signale l'importance des sels minéraux que renferme l'eau, abstraction faite des bactéries. Selon lui, l'eau potable doit renfermer du carbonate de chaux pour que le goût soit agréable. Les eaux séléniteuses, qui renferment du sulfate de chaux, sont malsaines. La réceptivité de certaines maladies épidémiques, et notamment du choléra, était plus grande qu'aujourd'hui, à Paris, lorsqu'on y buvait surtout l'eau de l'Ourcq, très séléniteuse : en 1884, cette maladie n'a été répandue que dans certains quartiers où l'emploi d'eau de l'Ourcq comme boisson n'a probablement pas tout à fait disparu.

L'orateur insiste, en outre, sur les avantages de la fraîcheur, ou constance de température des eaux. Les aqueducs à grands débits sont curieux

à cet égard : l'eau de la Vanne ne gagne pas beaucoup plus d'un degré centigrade, entre la source et le réservoir ; il en est de même depuis le réservoir jusqu'aux maisons, pourvu que dans ces dernières l'écoulement soit continu, fût-ce goutte à goutte, condition facile à réaliser. Cet avantage se retrouve en hiver, car l'eau ne descend pas au-dessous de 10 ou 12 degrés : les appareils de distribution ne gèlent pas dans les maisons, et l'on évite ainsi bien des accidents.

M. Deligny félicite M. Lindley des résultats qu'il a obtenus par le filtrage, ils sont bien supérieurs à ceux qu'atteignent les différentes compagnies de Londres. Il lui demande s'il préfère la distribution par un concessionnaire ou par la municipalité elle-même, question économique qui semble devoir trouver place au congrès.

M. Cahen conteste que la qualité de l'eau dépende du carbonate de chaux qu'elle contient. Il a longtemps habité la Bretagne, où des eaux excellentes ne contiennent que des traces de ce sel. Les eaux calcaires se rencontrent surtout dans la région parisienne. L'orateur demande si les bassins voûtés des filtres assurent aux eaux l'uniformité de température.

M. Lindley répond d'abord aux observations de M. Bechmann sur l'aération des filtres, en faisant remarquer qu'à Londres les filtres sont rarement vidés d'eau jusqu'à un certain niveau notablement inférieur à la surface du sable. L'aération a cependant été recommandée pour l'épuration des eaux par l'illustre docteur Franckland. Le remplissage successif par l'eau et par l'air, lors des nettoyages, assure la bonne marche du filtre à Berlin et à Varsovie ; dans cette dernière ville, on fait même des essais d'aération par l'air chaud. Les microbes ne sont pas toujours nuisibles à l'homme, car ils contribuent à opérer dans le sol et dans les eaux les transformations chimiques nécessaires à l'épuration ; mais s'ils sont nuisibles ensuite, le filtre permet de s'en débarrasser presque complètement, d'après des expériences que cite l'orateur sur la pénétration des micro-organismes dans les couches filtrantes. La couche superficielle du filtre en contient 700 000 en moyenne par centimètre cube (moyenne de deux expériences où l'on a trouvé 600 000 et 720 000) ; à un demi-centimètre au-dessous de la surface, on n'en a plus que 70 000, et ils se réduisent à 20 000 lorsqu'on atteint la profondeur de 8 centimètres. On descend enfin à 10 000 sous la limite de décoloration et 5 000 vers le fond de la couche de sable, à $0^m,60$ de profondeur. La quantité de matières organiques était, à la surface, de 2,86 pour 100 ; à 8 centimètres sous la surface, de 0,42 pour 100 ; à 12 centimètres, 0,008 pour 100.

L'orateur est d'accord avec M. Bechmann sur l'utilité d'une meilleure aération des couches filtrantes. Il n'a pas parlé d'Anvers, parce que le système breveté qu'on y emploie est très spécial et justifié par l'impureté extrême des eaux. Le fer, dont l'emploi a été recommandé en premier lieu par Bischoff, peut réduire (en donnant des chiffres proportionnels, simplement pour expliquer l'idée) à peu près de 30 à 5 la quantité des matières

organiques; mais si l'on a une eau qui en contient très peu, il est bien douteux que ce système ait aucune valeur pour la purification au-dessous d'une certaine limite.

En ce qui concerne les sels minéraux, M. Lindley laisse aux médecins le soin d'en apprécier l'utilité dans l'eau. Cependant, il ne croit pas que les eaux calcaires ou dures, soient absolument nécessaires pour l'alimentation ni bonnes pour l'industrie. A Francfort, on n'a que deux degrés hydrotimétriques, et l'on s'en trouve bien. Les eaux douces du lac Katrine ont avantageusement remplacé à Glasgow une ancienne distribution d'eaux calcaires.

Le choix entre la régie ou la concession pour desservir les particuliers est une question locale. Diverses compagnies d'eaux ne peuvent se faire concurrence dans une même rue avec avantage pour le public. En Allemagne, l'eau est jugée si nécessaire à l'existence des villes que c'est un devoir étroit, croit-on, pour les municipalités d'en assurer elles-mêmes la distribution. L'orateur est personnellement de cet avis.

Quant à la température, c'est un des éléments qui ne permettent pas d'hésiter entre l'eau de source et l'eau de rivière. Si l'on peut avoir l'eau de source en quantité suffisante et pas trop cher, on la préférera toujours. Mais lorsqu'on n'a pas le choix, on peut se consoler en songeant que l'eau de rivière n'est pas mauvaise. On ne peut pas compter d'ailleurs sur l'écoulement constant pour régulariser la température de l'eau distribuée, car les gens de service n'assureront jamais cet écoulement à loisir. Avant tout, il faut avoir beaucoup d'eau, et secondairement la meilleure possible.

Interrogé par M. Deligny, l'orateur indique les quantités fournies par tête d'habitant et par jour, dans différentes villes; c'est très variable selon les habitudes et les climats. 50 à 60 litres semblent très suffisants pour la consommation domestique seule.

M. Deligny fait remarquer que l'eau carbonatée est selon lui agréable à boire, sans qu'il en veuille conclure à la nécessité de trouver ce sel calcaire dans toutes les eaux potables. Il demande si l'air a été analysé avant et après son passage dans le filtre, pour constater s'il a perdu de l'oxygène; car les microbes pourraient bien rester à la surface du sable comme dans un milieu favorable (bouillon de culture), sans assimilation possible avec l'expérience de l'usine de Clichy, citée par M. Bechmann, où il n'y a pas submersion.

M. Lindley déclare que l'agrément de l'eau est affaire de goût personnel et d'habitude; il en donne des exemples. Les filtres dont il a parlé sont entièrement vidés d'eau une ou deux fois par mois; l'eau qu'ils débitent renferme moins d'oxygène à la sortie qu'à l'entrée, mais l'orateur ne croit pas devoir en tirer aucune conclusion quant à l'action de ce gaz sur les microbes.

M. Bechmann rappelle des expériences faites par MM. les docteurs Cordier

et Grancher, pour le conseil d'hygiène publique et de salubrité, sur la pénétration des microbes pathologiques dans les terrains perméables. On n'en a jamais trouvé à $0^m,30$ de profondeur, ce qui a détruit les craintes relatives à l'empoisonnement des champs destinés à l'épuration des eaux d'égout.

M. le Président confirme les assertions d'un des précédents orateurs sur les qualités de certaines eaux dépourvues de carbonate de chaux.

M. Vauthier rend hommage au caractère rationnel de la communication faite par M. Lindley. Il avait craint d'abord qu'il n'y fût question de recommander absolument les eaux de rivière. Il trouve juste de réagir jusqu'à un certain point contre l'horreur des eaux de rivière inculquée aux Parisiens par les grandes discussions entamées il y a trente ans pour décider l'approbation de coûteuses adductions d'eau. Lorsqu'il s'est agi d'augmenter l'alimentation de Paris en eau potable, il y a quelques années, l'orateur avait demandé l'étude comparative d'un projet dans lequel l'eau serait puisée en Seine, assez loin de Paris, vers l'amont; mais il a insisté pour que cette solution fût rejetée, après avoir reconnu, par ses études personnelles, que cette eau coûterait 11 ou 12 centimes le mètre cube, au lieu de 4 ou 5 que coûtera l'eau de source, amenée en aqueduc par la pente disponible depuis le département de l'Eure.

M. Bechmann demande à faire un court exposé de la situation des eaux de Paris, avant la visite de l'exposition municipale qui sera faite dans la journée. Quoi qu'on en dise dans le public, le service des eaux à Paris n'est pas mauvais, il est très satisfaisant, au contraire, bien qu'il ne soit pas parfait. On a 210 à 220 litres par tête d'habitant; M. Lindley ne demande que 100 à 120 litres en général : 140 à 180 pour une large alimentation (c'est la proportion à Londres). A Berlin, on ne se croit pas trop malheureux avec 65 ou 70 litres.

L'alimentation est double à Paris : eau de source et eau de rivière. L'eau de source, fournie par la Dhuis, prise à 130 kilomètres de Paris, et par la Vanne, amenée de 170 kilomètres, arrive régulièrement sous le volume de 140 000 mètres cubes au minimum par jour (plus de 60 litres par habitant). Or, d'après le rapport présenté au Congrès par M. Musquetier, on a 5, 10 ou 20 litres d'ordinaire en Hollande, très rarement plus de 30 litres, et les maisons y sont cependant mieux nettoyées qu'ailleurs. Cette eau de source est excellente, mais la distribution a un défaut: c'est que de temps immémorial, l'eau a été donnée d'une façon illimitée. En 1880 le principe du compteur a été adopté pour empêcher le gaspillage ou du moins le faire payer. Le volume d'eau de source est trop grand en hiver, où il faut appliquer l'excédent au service public, en économisant l'élévation d'une quantité correspondante d'eau de Seine. En été, la consommation augmente de 40 ou 50 pour 100 dès les premières chaleurs, et le volume de 140 000 mètres cubes se trouve insuffisant de 15 ou 20 000 mètres. On a toujours de l'eau, car la rivière n'en manque pas, et les machines ne sont

pas toutes en marche simultanément; mais comme l'eau de Seine n'est qu'accidentellement employée aux usages domestiques, il n'y avait pas lieu d'établir des filtres. La dérivation d'un premier groupe des sources acquises en 1884 donnera 120 000 mètres cubes de supplément par jour; on pensait en 1885 que les travaux seraient terminés pour l'Exposition; mais la lenteur des formalités ne l'a pas permis. Trois ans après la déclaration d'utilité publique, l'abondance sera complète et dès lors le service des eaux de Paris ne laissera plus rien à désirer au point de vue de l'alimentation.

L'ordre du jour de la séance suivante portera la discussion du rapport de M. Bechmann sur le meilleur mode de distribution à domicile et la communication de M. de la Motte, sur le barrage du Haut Nil.

La séance est levée à onze heures un quart.

SIXIÈME SÉANCE

Samedi 29 juillet.

La séance est ouverte à 9 heures du matin sous la présidence de M. Gauckler.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

M. Cotard dépose sur le bureau trois communications sur les irrigations au Chili, en Russie et dans les landes du Danemark. (Voir ces communications, pages 421, 424 et 443).

M. le Président fait remarquer que le terme fixé pour les travaux du Congrès ne permettra probablement pas de prendre connaissance de ces documents. La séance qui vient de s'ouvrir est la dernière et l'ordre du jour paraît très chargé.

M. Bechmann, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris, développe son rapport sur le meilleur mode de livraison de l'eau à domicile. (Voir ce rapport, page 87.) Cette question peut paraître bien peu importante après celles qui ont été traitées précédemment devant le Congrès. Elle ne comporte pas de longs discours. Il s'agit de savoir quel est le meilleur mode de distribution de l'eau à domicile. Autrefois l'eau n'arrivait qu'aux fontaines établies en certains points déterminés. De là les porteurs d'eau la montaient aux étages. Quelques privilégiés seulement avaient des concessions perpétuelles directement reliées aux châteaux d'eau.

Aujourd'hui toutes les villes doivent avoir des conduites dans toutes leurs rues; il suffit de s'y raccorder pour avoir l'eau chez soi. En Angleterre on a exclusivement employé pendant longtemps le système d'alimentation intermittente, dans lequel les conduites ne sont en pression qu'à certaines heures : les principaux inconvénients sont l'obligation d'établir dans chaque maison un réservoir qui peut être corrodé par les eaux, et les dangers d'incendie pendant que les conduites ne sont pas en charge. Sur le continent, l'alimentation continue des conduites a toujours prévalu, mais on y doit distinguer la distribution par robinet de jauge et la distribution à robinet libre. La jauge, qui remonte au temps des Romains, fournit un mince filet d'eau qui coule sans interruption et donne ainsi à

l'abonné, strictement, le cube auquel il a droit en vingt-quatre heures. Mais elle comporte l'emploi d'un réservoir, avec les sujétions qui en résultent comme pour l'alimentation intermittente.

Le robinet libre est plus avantageux pour le consommateur, car il lui donne à toute heure l'eau en abondance. Mais il y a un grave inconvénient pour le fournisseur, lorsque celui-ci risque de ne pas suffire à la consommation. Pendant longtemps, sur le continent tout au moins, on usait peu d'eau, et l'insuffisance n'était guère à craindre. Aussi l'ouvrage classique de M. Dupuit, sur les distributions, préconise-t-il l'emploi du robinet libre.

Aujourd'hui presque toutes les villes donnent l'eau à tous les étages; les cabinets de toilette, les water-closets, une foule d'appareils divers augmentent la consommation dans de telles proportions qu'il a fallu songer à l'enrayer. On a dit avec juste raison que l'eau ne peut être d'un usage trop répandu et doit même être gaspillée. Il y a cependant une limite; sans quoi, à Paris, par exemple, le débit de la Seine ne suffirait pas. En 1881, sept ans après l'arrivée de l'eau de la Vanne, la consommation augmentant, les réservoirs se sont mis à baisser, M. Belgrand, mort en 1878, croyait pourtant avoir largement doté le service privé pour de longues années. M. Alphand a dû inviter les consommateurs à se rationner eux-mêmes; d'où grand émoi dans la population parisienne. D'après les expériences faites par M. Couche, la consommation avait triplé en quelques jours. Précisément l'année d'avant, on avait arrêté un règlement pour l'emploi du compteur. On a dû l'imposer aux consommateurs. Ce petit appareil enregistre, comme chacun sait, les quantités d'eau qui le traversent; il permet de limiter le gaspillage, ou du moins de le faire payer, et il donne à l'exploitant la facilité de couvrir ses frais. Il est d'un usage aussi commode que le robinet libre; aussi la jauge tend-elle à disparaître, tandis que le compteur a été accepté partout sans murmures. Tout le monde, d'ailleurs, est d'accord pour reconnaître que le robinet libre mène au gaspillage effréné, et il sera bientôt abandonné partout.

A la vérité, le fournisseur d'eau ne sait pas d'avance, avec le compteur, ce qu'il devra distribuer, mais c'est un mal nécessaire. Les conduites doivent être disposées pour l'alimentation maxima, tandis qu'avec la jauge, leur diamètre est déterminé en vue de satisfaire à la moyenne des besoins.

Le seul reproche qu'on puisse adresser aux compteurs, c'est qu'ils exigent un certain entretien et qu'ils coûtent un peu cher; cependant on en construit aujourd'hui qui donnent satisfaction dans la pratique. A Paris, par exemple, on impose au compteur d'être exact à 8 pour 100 près, et cette tolérance est toujours mise au profit du consommateur, à qui l'on déduit huit centièmes des indications de l'appareil. Les brevets admis dans ces conditions sont très nombreux.

Avant d'être mis en place, les compteurs doivent passer par l'atelier

municipal de vérification. En outre, des équipes volantes de vérificateurs les visitent de temps en temps sur place et obligent les particuliers à les faire réparer.

La principale cause de la cherté des compteurs, c'est la mauvaise habitude qu'ont les fabricants de donner une remise aux plombiers.

Le compteur à gaz semble être d'un prix abordable pour tout le monde, il en sera bientôt de même pour le compteur d'eau.

En résumé, l'orateur croit que la seule solution satisfaisante pour la livraison de l'eau à domicile est l'adoption du compteur.

M. Deligny a la parole pour lire la note suivante :

Du meilleur mode d'administration des eaux d'alimentation et des moyens financiers les plus efficaces à la réalisation de l'alimentation.

L'alimentation des villes en eau potable et abondante exerce sur le bien-être et l'hygiène des populations l'influence la plus directe; elle est une nécessité que toute administration municipale soucieuse de son devoir doit s'efforcer de satisfaire. Elle doit l'être pour la totalité des habitations et des habitants, car l'insalubrité d'une habitation et la maladie d'un habitant s'étendent inévitablement et progressivement dans tout le voisinage.

Il importe donc que les sacrifices et les efforts communs accomplis pour l'adduction et la distribution de l'eau soient les plus puissants par leur généralisation, et les plus efficaces par la juste répartition des eaux.

La distribution de l'eau d'alimentation est donc, par son but et ses résultats, un service public de premier ordre, et comme tel il ne devrait jamais sortir de la direction des pouvoirs publics.

Cependant cette règle, dont l'administration romaine ne s'écartait jamais et qui a laissé de si notables œuvres, est loin d'être suivie d'une manière générale dans la pratique moderne. Nombre de communes confient l'exécution des travaux et la distribution des eaux à des entreprises particulières.

C'est ainsi que dans l'intéressante notice que nous donne M. J. A. E. Musquetier, sur vingt distributions dans les principales villes des Pays-Bas, six seulement ont été exécutées par la commune et sont administrées par elle; quatorze distributions y compris celle de la capitale ont été confiées pour l'exécution et pour l'exploitation à des compagnies concessionnaires.

Or il résulte pour les habitants une incontestable supériorité quant à la quantité distribuée et quant au prix de l'eau, en faveur des distributions communales.

A mesure que l'application des principes de l'hygiène se généralise, les administrations municipales tendent de plus en plus à prendre en main leur service de distribution et d'alimentation d'eau. Paris l'a fait dès 1860 en ce qui concerne l'administration et la distribution du service public.

Lyon a racheté l'année dernière une concession qui datait de 32 ans. Paris se prépare à compléter la municipalisation du service par la reprise de la distribution aux abonnés.

Cet exemple sera sans doute suivi par toutes les communes aussitôt qu'elles seront pourvues de moyens financiers immédiats, ou de crédit, qui leur permettront de rentrer en possession d'un service qu'elles n'auraient jamais dû aliéner.

Or elles le pourront toutes par l'application stricte des règles de l'hygiène imposée et non seulement conseillée à tous les habitants sans exception et particulièrement aux propriétaires des maisons habitées, pour lesquels la fourniture de l'eau aux habitants doit être considérée comme une obligation absolue.

La maison non pourvue suffisamment d'eau doit être considérée comme insalubre et comme telle interdite pour l'habitation.

De là découle nécessairement l'obligation de l'abonnement aux eaux publiques. Cette obligation existe de fait, soit par la loi et les règlements, soit indirectement dans toutes les villes pourvues d'une distribution suffisante.

Le conseil municipal de Paris a voté le principe de l'obligation; les nombreuses municipalités de Londres l'ont réalisé, sans intervention des règlements, en supprimant tout simplement toutes fontaines publiques où puissent puiser les habitants.

L'obligation de l'abonnement, avec minimum imposé, non seulement généralise le bienfait de l'eau et ses heureux résultats : elle fournit aux communes le moyen financier le plus puissant et le plus efficace d'exécuter les travaux d'adduction et de canalisation, de distribuer l'eau pour les services publics et privés sans altérer ni compromettre en rien la bonne administration de leurs finances.

La généralisation de l'abonnement et de la distribution à tous les habitants d'une commune donne des résultats de bon marché et d'abondance souvent inattendus. La répartition des charges sur tous les habitants permet de faire pour chacun d'eux, et au plus bas prix, une distribution qu'ils ne peuvent généralement obtenir, dans les conditions habituelles des concessions, qu'à des prix incomparablement plus élevés.

On peut poser ce fait que toute agglomération urbaine pourra distribuer un minimum de 50 litres par jour à tout habitant, pour son service personnel, avec un prix d'abonnement maximum annuel de 4 à 5 francs par habitant, suffisant pour couvrir l'intérêt et l'amortissement d'une part, et les frais d'exploitation d'autre part.

Ainsi un abonnement de 5 francs appliqué à dix des principales villes citées par M. Musquetier donnerait aux capitaux employés un revenu variant de 6,10 pour 100 pour la Haye à 18,6 pour 100 pour Nimègue.

C'est par la généralisation de l'abonnement obligatoire aux eaux des

villes, qu'on rendra possible pour toutes, une bonne alimentation et une bonne hygiène. On pourra non seulement distribuer l'eau abondamment à l'habitant dans sa maison et son logement, mais on pourra encore pourvoir largement les services publics de lavage, d'arrosage et de curage des égouts.

L'obligation de l'abonnement aux eaux municipales, soit qu'elle résulte de la suppression de tout autre moyen d'approvisionnement comme à Londres, soit qu'elle soit l'effet des règlements, est seule efficace pour généraliser une consommation suffisante dans les habitations.

A Londres, on n'a d'autre eau que celle pour laquelle on s'abonne; et, les habitudes aidant, la consommation domestique s'élève à 108 litres par jour et par habitant.

A Berlin, l'obligation légale produit une consommation domestique moyenne de 68 lit. 57 par jour et par habitant.

Notre collègue M. Lindley estime que cette alimentation doit se maintenir entre 50 et 100 litres.

A Paris, dans les arrondissements riches où les exigences des locataires et la bonne volonté des propriétaires ont généralisé l'abonnement, la consommation domestique en eaux de source s'élève de 57 à 65 litres par jour et par habitant, sans compter la consommation en eaux de rivière pour le lavage des cours et écuries.

Dans les arrondissements où le nombre des abonnements descend à 55 et même 42 seulement sur 100 maisons, les consommations descendent à 15, 10 et même 8 litres par habitant. C'est, pour les maisons non abonnées, l'infection et l'insalubrité en permanence.

A Lyon, il est constaté que dans les logements abonnés, la consommation domestique est de 67 à 110 litres suivant la saison. Les logements non abonnés sont infects et insalubres, comme à Paris.

Il n'y a aucune illusion à se faire, l'obligation à l'abonnement est la seule garantie d'une bonne et efficace alimentation des habitants et de la salubrité des maisons et des villes. Quand elle ne résulte pas des mœurs et des exigences des habitants eux-mêmes, elle doit être imposée par la loi, tout comme la décence publique.

L'obligation à l'abonnement n'entraîne ni pour l'habitant, ni pour la commune, une charge nouvelle, car, en assurant les moyens financiers d'exécution des distributions d'eau, elle fournit l'eau à l'habitant en abondance à meilleur marché qu'il ne peut aujourd'hui se procurer les minimes quantités les plus indispensables à la vie.

Nous sommes arrivés, à Paris, à cette constatation que les centaines de millions dépensés pour nos aqueducs, nos machines, notre double canalisation, que 350 000 mètres cubes par jour répandus sur la voie publique pour la laver et l'arroser, avaient assaini la rue et les égouts, mais que le tiers de nos maisons habitées par la moitié de la population restaient insalubres et dépourvues de l'eau par une résistance que l'obligation légale seule peut vaincre.

Nous avons, en conséquence, décidé en principe l'obligation de l'abonnement pour toutes les propriétés habitées.

M. Gaget ne conteste pas l'efficacité du compteur, vantée par M. Bechmann, mais croit devoir signaler un fait. Dans certaines maisons à 6 ou 7 étages, il y a jusqu'à 22 water-closets, il en connaît une tout près du Trocadéro. Le service de l'assainissement y a proné l'emploi des réservoirs à flotteurs dont le trop-plein va dans la fosse. Malheureusement les flotteurs ne fonctionnent pas toujours bien.

L'énorme consommation qui en résulte a découragé au moins 50 pour 100 des propriétaires qui, à l'heure actuelle, font supprimer l'eau des cabinets d'aisances. On en arrive comme autrefois à jeter l'eau dans la cuvette au moyen d'un broc. Au point de vue de l'hygiène, le compteur menace ainsi de nous ramener en arrière de vingt-cinq ou trente ans. M. Gaget croit que le service municipal ignore ces faits; il y aurait peut-être intérêt à fixer l'attention de l'Administration sur ce point.

M. Bechmann fait remarquer que, d'après les indications mêmes du préopinant, le compteur oblige le propriétaire à surveiller sa canalisation; c'est une excellente chose. Les appareils à flotteurs devraient bien marcher; on les perfectionnera, ou bien on les réparera aussi souvent qu'il sera nécessaire, s'ils se comportent mal. Le service de l'assainissement exige de la façon la plus formelle que les water-closets soient alimentés d'eau, avant d'autoriser les tinettes ou l'écoulement direct en égout, qu'on préfère généralement aujourd'hui. On lui fait même à ce sujet une guerre continue, à cause de ses exigences. Les agents de l'Administration ne peuvent être partout; mais dès qu'un locataire signale une maison insalubre, on sait bien forcer le propriétaire à faire les travaux nécessaires. La situation transitoire actuelle ne tardera pas à disparaître; l'abonnement obligatoire empêchera bientôt toute suppression de branchement d'eau, car elle ne procurerait plus d'économie sensible.

M. Gaget demande si l'abonnement obligatoire exclut le compteur.

M. Deligny répond que non, car la consommation doit toujours être contrôlée. Dans les quartiers riches, il y a autant d'abonnés que de maisons; le 8e arrondissement, par exemple, utilise une distribution de 65 litres par habitant, tandis que dans le 13e elle est seulement de 8 litres. Il faut donc qu'un règlement intervienne pour procurer à Paris les mêmes résultats déjà obtenus par la municipalité de Berlin; il y a quinze ans, en appliquant l'obligation, on aurait empêché les propriétaires d'agir contre leurs intérêts, qu'ils ne comprennent pas bien lorsqu'ils restreignent chez eux la consommation de l'eau.

M. Loppens pense que dans les grandes villes, des moyennes de consommation doivent s'établir d'une façon exacte, et demande si M. Bechmann pourrait donner des renseignements sur ce point pour préciser ce qu'il a dit sur l'irrégularité de débit que laissent subsister les compteurs.

M. Lindley se déclare complètement d'accord avec M. Bechmann. Le système d'alimentation intermittente doit être complètement écarté, et l'on exécute actuellement à Hambourg les travaux nécessaires pour l'abandonner. Mais, en imposant l'emploi du compteur, on doit au même instant établir un minimum à payer par tête d'habitant, sans quoi on encourage indirectement la réduction de l'eau consommée. D'autre part, un système particulier a été adopté à Francfort et à Varsovie; on n'a pas trouvé juste que le pauvre paye, avec le compteur, l'eau qui lui est indispensable, proportionnellement aussi cher que le riche pour les grandes quantités qu'il emploie. On a donc fixé, à Varsovie, un tarif à base progressive, dans lequel le mètre cube d'eau est payé d'autant plus cher que les logements où il est consommé renferment plus de chambres; il arrive ainsi que le riche paye jusqu'à dix fois plus cher que le pauvre. A Francfort-sur-le-Mein, on fait payer l'eau à raison de 4 pour 100 sur le loyer, sauf pour les loyers au-dessous de 250 marcks par an, qui jouissent d'un dégrèvement complet. Le compteur n'y est pas obligatoire, mais chacun est obligé d'assurer chez soi l'écoulement de l'eau. Le compteur reste facultatif; en outre, on contrôle les fuites à l'aide des appareils expérimentés en Angleterre. On a trouvé ainsi jusqu'à 70 litres de pertes par jour et par tête d'habitant; on a pu les réduire à 5 litres. Dans un autre cas, sur 12 000 mètres cubes on en perdait 8 000. En moyenne, si l'on n'y prend garde, les fuites peuvent doubler les orifices d'écoulement.

M. Bechmann répond à M. Loppens qu'en dehors du gaspillage, il y a des variations naturelles dans la consommation, plus grande en été qu'en hiver. Même avec la jauge, les particuliers demandent des suppléments l'été; si le compteur ne supprime pas les abus, du moins il les fait payer.

M. Deligny cite les cubes totaux consommés à Paris pendant les quatre trimestres de 1888; le plus fort dépasse le plus faible d'environ 20 pour 100.

M. le Président fait ressortir une interruption de M. Cotard qui demande si l'on n'a pas essayé d'établir un tarif plus élevé, à partir de certaines limites de consommation, pour obvier aux abus.

M. Bechmann répond que cette disposition n'a pas été appliquée à Paris. Il faut attendre que l'abonnement soit obligatoire pour savoir ce qu'il conviendra de faire à ce sujet.

M. le Président donne la parole à M. le comte de la Motte, pour une communication relative à son projet de barrage sur le Haut Nil.

M. de la Motte rappelle la conférence faite la veille par M. le général Tcheng-Ki-Tong, dans laquelle il a fait ressortir l'antiquité des irrigations en Chine, déjà florissante il y a quatre mille ans. L'Europe est assurément en retard sous ce rapport, mais elle rattrapera le temps perdu. Sans parler des vestiges constatés en Amérique et spécialement au Chili, l'Égypte offre des traces d'un antique aménagement des eaux du Nil, cinq ou six mille ans avant Jésus-Christ, à l'époque florissante où se construisaient les pyra-

mides : peut-être même les travaux des égyptologues feront-ils remonter certains ouvrages à une date cinq fois plus éloignée.

L'orateur a dressé, depuis 1868, une carte des bords du Nil, dont il montre une partie au Congrès : il en a fait l'assemblage à l'échelle du cent-millième. Il a jugé impossible que l'Égypte actuelle, avec ses 2 millions 1/2 d'hectares cultivables, ait jamais pu nourrir la population nécessaire pour élever les monuments figurés sur cette carte.

En remontant le Nil, vers Dongola et Wady-Halfa, on trouve des cataractes; il n'y a plus de terre, sauf près de Dongola, et le fleuve n'est pas navigable. Cependant, aux environs de Semneh, on rencontre vingt et un temples, dont un peut contenir six fois Notre-Dame de Paris. Où vivaient leurs habitants? En face, l'orateur a reconnu une immense plaine sèche de 500 000 hectares, que le Nil arrosait autrefois, et que n'atteint plus l'inondation. Le fleuve s'est abaissé, les temples ont été désertés, et tout a été recouvert peu à peu d'une couche de sable stérile. En le grattant, on trouve dessous des couches d'humus nilotique noir, sur 25 et 30 mètres de profondeur. Il n'y aurait qu'à mettre de l'eau dans ces grandes plaines pour y faire renaître la fertilité. La même situation se retrouve sur beaucoup d'autres points, jusqu'à la dernière cataracte : M. de la Motte cite un endroit où le Nil reste à une hauteur de 12 mètres au-dessous de la plaine haute, lorsqu'il atteint son maximum; jusqu'à 5 ou 6 mètres on peut encore monter l'eau avec les chaloufs et sacquiehs du pays; au delà, c'est impossible. Il faudrait donc que le gouvernement fît relever le fleuve. Cette mesure est nécessaire pour maintenir l'Égypte actuelle, sans remonter jusqu'en Nubie.

Le Nil débite 120 milliards de mètres cubes par an, au minimum, dont 100 milliards en trois mois et 20 pendant le reste de l'année. Avec la culture par bassins décrite par M. Barois, on a une récolte quand les deux tiers du débit ont déjà passé. Si l'on place des barrages sur le cours inférieur du fleuve, on sera forcé de les ouvrir pour laisser passer la crue, car il y a lieu de craindre que l'inondation soit trop haute, ce qui fait remonter le sel à la surface, au détriment de la végétation, ou fait courir le risque d'une rupture des digues. C'est ce qui est arrivé en 1887, tandis qu'au contraire en 1888 l'eau est restée trop basse, et l'on n'a pu payer l'impôt.

D'autres solutions, d'ailleurs fort coûteuses, comme le canal projeté par Linant de Bellefonds, pour remettre l'eau dans le lac Mœris, peuvent avoir une efficacité locale : mais l'étiage est trop faible, on ne laisserait plus rien pour la Basse Égypte en généralisant les dérivations.

Il faut donc des réservoirs supérieurs. M. l'inspecteur général Jacquet est allé examiner la question sur place, et son avis concorde avec l'opinion soutenue depuis longtemps par de M. de la Motte. On pourrait cultiver 5 millions d'hectares dans l'Égypte actuelle, si tout était irrigué : on en cultive à peine la moitié, abstraction faite de quelques oasis, alimentées

par des sources souterraines, venant du Nil supérieur, et dont la surface est si faible qu'on peut n'en pas parler. Un immense réservoir supérieur permettrait de distribuer l'eau suivant les besoins et de régulariser les crues.

M. de la Motte a reconnu que les crues du Nil sont grandes ou petites, non pas parce que le fleuve débite beaucoup d'eau ou peu d'eau dans l'année, mais parce que les crues du Nil Blanc et du Nil Bleu concordent exactement, ou se rejoignent au confluent à quelques jours seulement de distance. Quand le Nil Bleu, qui arrive d'ordinaire le premier, est en retard, la conjonction se fait dans des conditions plus ou moins favorables selon la date d'arrivée du Nil Blanc à Kartoum. La réunion des deux crues doit se faire à un intervalle précis pour que l'abondance des récoltes soit assurée à l'Égypte. Des faits analogues ont été mis en lumière depuis longtemps par le service hydrométrique du bassin de la Seine.

Un grand réservoir supérieur sur le Nil Blanc permettrait de retarder sa crue, si elle est trop brusque, ou de l'avancer au contraire, grâce aux réserves précédentes, d'après les prévisions d'un service hydrométrique spécial.

L'envasement du réservoir, près de la première cataracte, n'aurait pas de mauvais effets, en admettant qu'il se produise dans un temps très long à venir, car c'est précisément l'abaissement du lit qui a causé l'assèchement actuel des rives. Du temps de Mœris, l'eau montait à 8 picks (près de 4 mètres) et couvrait l'Égypte entière : il faut qu'elle monte à 12 mètres aujourd'hui pour produire le même effet. Le crocodile n'existe pour ainsi dire plus dans le pays, car on ne peut donner ce nom aux petits reptiles de cette espèce, qu'on rencontre encore, à côté des squelettes de 5 ou 6 mètres de long exhumés aux mêmes endroits : il a remonté vers les sources, parce que l'eau sale en temps d'étiage, rouge ou verte, ne lui convient pas. Il n'y aurait pas à le regretter, si ce n'était un signe de l'insuffisance des eaux.

L'orateur termine en faisant remarquer qu'il est difficile de dire en un quart d'heure tout ce que comporte un si vaste sujet, et donne lecture de la lettre adressée par M. Jacquet, inspecteur général des Ponts et chaussées, à la Société d'études du Nil, le 18 décembre 1888.

M. le Président demande à l'orateur de préciser l'emplacement qu'il a choisi pour son barrage.

M. de la Motte indique sur sa carte la région voisine d'Assouan et de Djebel-Selseleh, où l'on trouve des marécages. vestiges d'anciens lacs à reconstituer. Ce réservoir serait le plus éloigné en amont et empêcherait un écart supérieur à vingt jours entre la crue du Nil Bleu et celle du Nil Blanc, écart funeste pour la prospérité de l'Égypte. Un ancien bras du Nil servirait de déversoir.

M. le Président regrette que l'orateur n'ait pas demandé à faire une conférence spéciale au Congrès et qu'il ait été ainsi obligé d'abréger sa communication, dont il le remercie.

M. Turrettini rend compte en quelques mots de l'utilisation des forces motrices du Rhône à Genève. Les travaux qu'il a dirigés intéressent en réalité les deux Sections du Congrès. Les ouvrages exécutés à Genève ont eu un double but :

1° Régulariser le niveau du lac Léman en abaissant de 60 à 70 centimètres le niveau des hautes eaux, et mettre fin de cette façon à une discussion deux fois séculaire entre Genève et les riverains du lac;

2° Utiliser les 6 000 chevaux de force qui pouvaient être rendus disponibles, dans la ville même, par un aménagement approprié du Rhône.

Le Rhône, à Genève, est divisé actuellement en deux bras par une île. Le bras droit a été aménagé comme canal de régularisation ; à cet effet, un barrage à rideaux du système Caméré a été établi en tête de ce bras. Ce barrage, mis en service au printemps de 1887, a fonctionné d'une façon absolument satisfaisante.

Le bras gauche a été aménagé en canal industriel; il est fermé, dans ce but, par un bâtiment qui peut contenir 20 turbines de 300 chevaux chacune. Les travaux ont été commencés en 1884 et la mise en marche des 5 premières turbines a eu lieu au printemps 1886; aujourd'hui 8 turbines fonctionnent et deux nouvelles vont être mises en place.

Les turbines actionnent des pompes et l'eau ainsi élevée sert à la fois, grâce à sa pureté, soit aux services publics, soit comme eau ménagère, industrielle et motrice. La quantité d'eau aujourd'hui élevée est de 85 000 mètres cubes par jour, soit plus de 1 mètre cube par habitant.

1 500 chevaux sont distribués à domicile pour faire mouvoir 250 moteurs hydrauliques secondaires ; les moteurs varient d'un quart de cheval à 200 chevaux. L'eau est distribuée, comme eau ménagère et industrielle, soit au compteur, soit à la jauge; et comme eau motrice soit par tarif à l'année de 24, 12, 11 ou 10 heures par jour, soit au compteur d'eau pour les forces très intermittentes.

Un réservoir supérieur, placé à 6 kilomètres et à 125 mètres d'altitude, est destiné à régulariser le service; mais, vu la longueur de la canalisation les variations de pression dans le réseau atteindraient 16 mètres suivant que le réservoir se viderait ou se remplirait.

Pour maintenir une pression constante, M. Turrettini a imaginé le dispositif suivant, qui fonctionne parfaitement depuis un an et maintient la pression absolument constante.

Sur le parcours de la canalisation allant au réservoir à la sortie de l'agglomération urbaine, une pompe centrifuge est placée dans la canalisation même. Elle est mue par une turbine secondaire de 120 chevaux munie d'un servo-moteur qui fait varier sa vitesse. La pompe centrifuge tourne de façon à refouler l'eau du côté des pompes en relevant la pression de 16 mètres d'un côté à l'autre. Il en résulte donc un relèvement de pression égal à la perte de charge dans la canalisation.

En réalité la force dépensée par la turbine qui fait mouvoir la pompe

centrifuge n'est pas perdue. En effet, une partie de cette force se retrouve en surélévation de la pression, soit 40 pour 100. En outre les turbines primaires devant, du fait du relèvement de pression, prélever sur le Rhône un travail plus considérable, il en résulte que le travail utile total de l'eau disponible dans le réseau en est augmenté.

Le servo-moteur de la turbine arrête automatiquement celle-ci lorsque l'eau tend à monter au réservoir.

M. de Llaurado, expose que M. Cotard demande quelques renseignements sur la production artificielle des sources en Espagne. Ce procédé très particulier d'irrigation existe, depuis les Arabes, dans des localités déterminées de la Sierra Nevada. Au moment du dégel, on verse les eaux des glaciers dans des canaux ouverts sur le sommet de la montagne. De distance en distance il y a quelques plateaux où les eaux s'infiltrent dans le terrain pour faire des sources à des distances très considérables et à une grande profondeur dans le sol. Ces eaux servent pour l'arrosage de la haute vallée, où ce système est exclusivement appliqué; c'est la vallée de Messina de Buen Varon.

M. le Président est heureux de constater, en terminant les travaux de la première Section du Congrès, que les séances ont été des plus intéressantes; si le temps n'avait pas été trop limité, elles l'auraient encore été davantage.

Il espère qu'une autre fois on sera moins pressé. Lui-même a été pris à l'improviste et remercie les membres du Congrès d'avoir bien voulu tenir compte de ce qu'il ne s'était pas préparé d'avance à une si belle mais si lourde tâche. (*Applaudissements.*)

La séance est levée à 11 h. 1/2.

ANNEXES

AU PROCÈS-VERBAL DE LA SIXIÈME SÉANCE.

Les irrigations au Chili.

Au point de vue agricole, le territoire du Chili comprend, du nord au sud, trois grandes régions principales bien différentes par leurs conditions culturales et par les produits qu'elles fournissent.

Le nord, ou la région sèche, renferme seulement quelques étroites vallées arrosées qui forment de véritables oasis au milieu des déserts. Dans cette région, les pluies sont inconnues ou excessivement rares; sans irrigations artificielles, il n'y a pas de végétation possible et le sol n'a aucune valeur.

L'agriculture de ces vallées est celle des pays semi-tropicaux et tempérés, Elle est forcément réduite comme étendue, mais ses produits sont réguliers, abondants, très variés et de grande qualité.

La région du nord s'étend, depuis la limite du nord du pays, jusqu'au 32e degré de latitude.

Le centre, qui commence où finit le nord et s'avance jusqu'au 39e parallèle, jouit d'un climat sec et très lumineux pendant l'été et assez humide durant quelques mois de l'hiver. Il est partout très tempéré; les maxima ne dépassent pas 30 à 32 degrés dans les journées les plus chaudes de la belle saison; le thermomètre descend rarement au-dessous de 1 ou 2 degrés pendant l'hiver.

Cette partie de la République est la région agricole principale. Les plaines et les vallées irriguées fournissent abondamment tous les produits des contrées tempérées. Les industries zootechniques y sont également très développées.

Les hauts plateaux et les collines non soumises à l'arrosage, sont propres aux céréales d'hiver, mais les récoltes sont souvent compromises par la sécheresse.

Le sud va depuis le centre jusqu'à la Terre de Feu, par 56 degrés de latitude sud. Cette région est surtout caractérisée par un climat très tempéré et très humide pendant toute l'année. Elle est très boisée et propre aux herbages et aux cultures fourragères.

De l'ouest à l'est, le pays se divise en trois zones parallèles parfaitement déterminées sur presque toute la longueur du territoire.

La zone de la côte est formée par la chaîne ou cordillère de la côte et les vallées secondaires qui la traversent.

La zone andine, ou versant ouest de la cordillère des Andes, comprend les bois, les pâturages d'été et les neiges qui fournissent l'eau aux fleuves pendant la belle saison.

La vallée centrale, comprise entre les deux premières, forme les grandes plaines des régions du centre et du sud.

Les principaux cours d'eau naissent de la cordillère andine. Ils s'y forment à de grandes hauteurs, arrivent dans la vallée centrale sous la forme de torrents et traversent le pays, de l'est à l'ouest, pour déboucher dans le Pacifique.

Ils sont peu importants et peu nombreux dans la région du nord. Dans le centre, ils sont au contraire nombreux, uniformément distribués du nord au sud, et acquièrent tous les caractères de vrais fleuves.

La région du sud est traversée par des cours d'eau plus importants encore.

Outre les fleuves qui descendent de la grande chaîne andine, il y a aussi un certain nombre de petites rivières qui prennent naissance dans la cordillère de la côte, et dont les eaux sont aussi utilisées pour les irrigations au printemps et au commencement de l'été.

D'après ce qui précède, on voit quel rôle important jouent les irrigations artificielles au Chili. Dans la région du nord et dans une grande partie de celle du centre, l'eau d'irrigation est tout; le sol n'est rien, sans elle. Sans arrosage, pas d'agriculture possible. Dans la partie du centre qui est voisine de la région sud, les irrigations ont une importance moindre, mais elles sont partout considérées comme le moyen le plus économique pour améliorer les terrains et augmenter leur production agricole.

Aussi l'agriculteur chilien considère l'eau avant la terre, et fait tous les sacrifices voulus pour installer des irrigations.

Avant l'arrivée des Espagnols au Chili, les indigènes pratiquaient les arrosages dans la région du nord. Les conquérants creusèrent de nouveaux canaux et étendirent les irrigations dans le centre, Mais les arrosages ne se sont vraiment propagés avec rapidité que depuis l'indépendance du pays et principalement à partir de 1850.

On s'occupe aussi très activement, depuis quelque temps, de la question des réservoirs artificiels à établir dans le centre. Il y a de grands progrès à réaliser dans ce sens au Chili.

Les irrigations sont pratiquées, aujourd'hui, depuis l'extrême nord du du pays jusqu'au 39e degré de latitude.

Quinze provinces ont leurs plaines et leurs vallées entièrement irriguées.

Quarante rivières principales fournissent l'eau d'arrosage.

Plus de *quatre cents grands canaux* partent de ces rivières et distribuent leurs eaux sur les flancs des montagnes, dans les plaines et les vallées.

Il y a également quelques réservoirs artificiels très importants.

Plusieurs provinces du nord et du centre sont arrivées à l'extrême limite en matière d'irrigation; toute l'eau des rivières est prise par les canaux et leurs lits restent à sec, pendant la période des arrosages.

Dans beaucoup de cas, les irrigations des terrains supérieurs forment des infiltrations qui se réunissent dans le lit des rivières et les reforment vers le milieu de la vallée centrale ou au commencement de la zone de la côte. Ces eaux sont reprises de nouveau et servent à irriguer les terrains des vallées secondaires de la zone de la côte qui occupent un niveau inférieur.

La surface totale arrosée dans tout le territoire du Chili est d'environ *deux millions d'hectares*.

L'eau d'arrosage est évaluée par *regadores*. Le *regador* est un débit d'eau de *quinze litres* par seconde.

Un *regador* est considéré comme suffisant pour arroser *dix à quinze hectares*.

En moyenne, chaque arrosage est d'environ *cinq cents mètres cubes* par hectare, et on irrigue tous les six, huit, dix ou douze jours, suivant les terrains, les cultures et suivant les régions.

Dans le nord et le centre-nord, on emploie beaucoup moins d'eau pour chaque arrosage que dans le centre-sud et sud.

Tous les canaux d'irrigation, au Chili, appartiennent aux propriétaires des terrains arrosés. Ils les font construire et les entretiennent à leurs frais. L'État n'intervient point dans ces sortes de travaux et ne garantit jamais l'intérêt des capitaux engagés.

Les canaux sont construits le plus simplement possible, et on évite, autant qu'on peut, les ouvrages d'art.

Il est impossible de citer des chiffres relatifs au coût des canaux. Les dépenses varient énormément suivant les circonstances dans lesquelles ils sont établis.

Les frais d'entretien sont également très variables; on peut les évaluer de 50 *centimes à* 5 *francs* par hectare arrosé.

Le *regador* vaut depuis 1000 francs jusqu'à 15 000 francs, selon la qualité des eaux, celle des terrains à arroser et la région.

Quant à l'augmentation qu'acquièrent les terrains arrosés, elle est toujours très grande. Ainsi dans tout le nord et une bonne partie du centre, sans eau d'arrosage, la terre n'a aucune valeur : plus au sud, l'irrigation fait doubler, tripler et quadrupler le prix de l'hectare.

Ce sont donc les propriétaires eux-mêmes qui bénéficient directement de cette plus-value; elle compense toujours très largement les frais faits pour l'établissement des canaux.

A cause de la configuration topographique du pays, de la faible distance qu'il y a entre chaque rivière et la petite largeur du territoire, la plupart des canaux sont de dimensions petites ou moyennes. Cependant quelques-uns ont un débit à la prise de 15 000 et même 20 000 litres d'eau par seconde.

Leur parcours n'est pas très long, il dépasse rarement 8 à 10 lieues.

Les irrigations en Russie[1].

L'empire de Russie contient, dans ses limites, des pays jouissant des conditions climatériques les plus variées. Les possessions dans les contrées chaudes de l'Asie Mineure et de l'Asie centrale ont été acquises au cours de ce siècle; quelques-unes même sont de date toute récente. Soucieux de soutenir et de développer les pays annexés, le Gouvernement n'a pas perdu de vue leur condition essentielle de prospérité, nous voulons dire l'irrigation. Cette question a été soulevée dès l'annexion du Transcaucase. Immédiatement après, l'attention fut attirée sur la nécessité d'organiser un régime des eaux en Crimée. L'irrigation, il est vrai, y existait depuis une époque reculée, mais le code civil, en vigueur dans l'empire, ne tenait pas compte de ses conditions d'existence. Enfin, la question d'irrigation prit une importance particulière avec la conquête de vastes régions en Asie centrale, par la nécessité non seulement de protéger l'agriculture, mais encore de la créer, ou plus exactement de la rendre à la vie.

Dans la Russie d'Europe, en exceptant la Crimée, l'irrigation des terrains est très peu pratiquée. Ceci explique pourquoi le code russe contient jusqu'à présent des dispositions gênantes pour l'utilisation de l'eau. Mais, dans un avenir très prochain, doivent paraître des lois spéciales, réglementant le régime des eaux en Crimée et au Tanscaucase.

En Crimée, l'irrigation constitue la condition fondamentale du perfectionnement de la culture. Par suite du manque de cours d'eau de quelque importance, l'arrosage des plaines situées au nord des montagnes se fait au moyen de canaux de dimensions très restreintes. Ces canaux sont construits et maintenus en état, exclusivement par les usagers. On n'y trouve aucun perfectionnement technique. La côte sud de Crimée présente une pente abrupte qui s'étend jusqu'à la mer.

L'arrosage des coteaux et des vallées est alimenté seulement par les petits ruisseaux qui jaillissent des montagnes. L'eau de ces ruisseaux n'est pas recueillie dans des canaux, mais détournée de la façon la plus simple et la plus facile, jusqu'aux plantations qu'elle arrose. Dans des cas rares, on institue, avec le consentement des riverains, un tour de rôle pour les terres

1. Pour l'intelligence de cette communication sur les irrigations de Russie, il convient de se rappeler les valeurs approximatives suivantes des mesures employées dans le texte :

1 archine	$= 0^{m},711$,	1 verste	= 500 sagènes	=	1 067 mètres,
1 sagène	$= 2^{m},134$,	1 verste carrée	= 250 000 sag. car.	=	1 138 020 mètres carrés
1 sagène carrée	$= 4^{mq},552$,	1 tanap	= 625 sag. car.	=	2 845 mètres carrés,
1 sagène cube	$= 9^{mc},711$,	1 déciatine	= 2 400 sag. car.	=	10 925 mètres carrés.

En nombres ronds, une verste est un peu plus d'un kilomètre, et une déciatine, un eu plus d'un hectare. Le rouble, monnaie de compte, vaut quatre francs.

situées en amont et en aval. L'arrosage des terres non riveraines offre plus de difficultés, si les propriétaires ou les communes ne sont pas parvenus à détourner l'eau en amont et à l'amener, après un long détour, sur leurs terres. Jusqu'à présent, le droit des riverains sur les eaux est consacré par la loi. Les décisions judiciaires confirment ce droit, sauf dans le cas où l'existence d'un contrat a modifié l'état de choses naturel.

L'irrigation se pratique au *Caucase* sur de vastes espaces, à l'aide des cours d'eau qui se jettent dans la mer Caspienne. Au nord de la chaîne principale du Caucase, les terrains arrosés occupent plusieurs points des bassins du Térek, du Soulak et d'autres cours d'eau, le long du littoral de la mer. Les rivières coulant vers le nord, telles que la Koura (du nord) la Kouma, etc..., sont peu abondantes en eau. Mais les pays traversés par ces rivières ont moins besoin d'eau d'irrigation que d'eau potable. Pour augmenter le volume d'eau de la Koura (du nord), on a construit, en 1851 et en 1868, deux canaux dérivés du Malka, affluent du Térek. Ces canaux, le Kourski et l'Eristowski, déversent l'eau dans la Koura et ne contribuent à l'irrigation que dans une mesure restreinte.

L'irrigation régulière dans le bassin inférieur du Térek, commence non loin du confluent de ce cours d'eau avec le Sundja. Elle s'opère au moyen de nombreux canaux. Ces canaux, creusés et entretenus par les habitants, sont loin de la perfection au point de vue de l'art. Un petit nombre seulement possèdent des écluses à la prise.

Les populations cosaques, établies à l'embouchure du Térek, cultivent leur terre suivant une méthode originale résultant du mode d'emploi des eaux d'irrigation. Les communes possédant de vastes terrains choisissent les lieux les plus bas et qui peuvent être cultivés. Les eaux du Térek les couvrent depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'août. Le sol, devenu sec, est divisé en portions de 120 à 200 sagènes de longueur, sur 3 à 7 de largeur, puis distribué pour la culture. Chaque famille séparément (foyer), suivant le nombre d'ouvriers fournis par elle aux travaux exécutés pour la réparation et l'entretien des canaux ainsi que pour consolider les rives, acquiert le droit d'exploiter une certaine étendue de champs ou de prairies. Ce procédé d'arrosage n'exige ni la distribution des eaux, ni leur emploi ordonné. Les jardins et les vignobles sont généralement des propriétés privées et non communales ; aussi la participation pécuniaire des propriétaires aux travaux de réparation et d'entretien n'existe-t-elle que pour leurs terrains soumis à l'arrosage. La distribution des eaux pour l'arrosage des jardins s'exécute dans un ordre déterminé, à l'aide de petites écluses situées à la prise de chaque canal de répartition ; puis, l'eau est versée dans les jardins simplement par des conduites ordinaires.

Entre le cours inférieur du Térek et celui du Soulak, la coutume d'utiliser l'eau s'est établie sous l'influence des idées musulmanes, qui la considèrent comme l'élément général de la fortune du pays. Chaque année au

printemps, les usagers répartissent l'eau dans les canaux ; mais, par suite du manque de surveillance constante sur la dérivation des eaux, des abus se produisent au moment de la distribution. Les terres possédées en commun sont partagées annuellement, et les lots distribués par voie de tirage au sort. Les frais d'entretien incombent aux associés, et se répartissent sur chaque famille, qui doit fournir un ouvrier.

Il existe aussi, dans la province de Térek et dans la partie septentrionale du Daghestan, de grands canaux construits par les soins des habitants subventionnés par l'État. A ce point de vue, ce pays a devancé le reste du Caucase, et possède des canaux irrigateurs de dimensions considérables, à savoir : Stchedrinski, Wojakowski, Chabour, les deux Jusbachs et Sulak.

1. — Le canal de Stchedrinski, dérivé en 1870 du Térek, devait prévenir d'abord les inondations qui dévastaient la région près du cours inférieur de la rivière, puis, servir à l'irrigation des terres de plusieurs villages, enfin enceindre les steppes des tribus nomades. La longueur du canal est de 39 verstes ; la section, 1,58 sagènes carées, avec un débit possible de 2 sagènes cubes par seconde ; mais à une distance de 14 verstes de l'écluse, la section diminue et n'a que 0,53 sagènes carrées, avec un débit approximatif de 0,231 sagènes cubes par seconde. Comme cette dimension du canal ne permet l'écoulement que d'un huitième du volume d'eau calculé à l'écluse, vu les autres vices de construction, on est contraint, pendant quatre mois de l'été, de poser des fascines à la prise d'eau du canal, de retirer et de remettre ces fascines, suivant l'abondance ou le manque d'eau.

Cette manière de régler la quantité d'eau introduite dans le canal cause la submersion des régions plus basses, tandis que l'eau n'arrive aux villages plus éloignés que dans une proportion insuffisante. On arrive finalement à cette conclusion, que le but de la construction de ce canal n'a pas été atteint.

2. — Le canal Jusbach Terek-Tataoul, dérivé de la branche méridionale de l'embouchure du Térek, dirige ses eaux vers le golfe d'Agrakhan. A la prise du canal est installée une écluse de bois. La longueur du canal est de 32 verstes ; la section, de 0,87 sagènes carrées, avec un débit variable de 0,15 à 0.27 sagènes cubes par seconde. La distribution des eaux n'offre aucune régularité, chaque village prenant l'eau sans écluse spéciale.

3. — Le canal de Vojakowski, dérivé du Térek, commence par un double embranchement d'une largeur de 2 sagènes chacun, qui se rejoignent à une distance de 195 sagènes, et forment un canal large de 4 sagènes. Ce canal, après un parcours de 20 verstes, se jette dans l'Aksaï. Il fournit de 0,217 à 0,260 sagènes cubes d'eau par seconde.

4. — Le canal Jusbach-Sulak-Tataoul, dérivé du Sulak, se dirige vers le nord pour aboutir au lac Kimrey-Bauhan. La longueur du canal principal atteint 35 verstes, mais des canaux secondaires prolongent le cours des eaux jusqu'à 25 verstes au delà. L'étendue du périmètre desservi s'élève à 25 000 déciatines.

L'eau du canal principal se répand dans les canaux distributeurs à l'aide

d'écluses en bois. Celles-ci fournissent aux usagers la quantité d'eau à laquelle ils ont droit. Les frais d'entretien et de réparation des ouvrages sont acquittés par les propriétaires, au moyen de contributions proportionnelles à la quantité d'eau consommée par eux. Les communes rurales acquittent leurs contributions en journées de travail.

5. — Un peu au-dessous du canal précédent (Jusbach) est dérivé du Soulak un autre canal nommé Shabour. C'est un des plus anciens canaux de la région, et, avec ses embranchements, il arrose, sur une étendue de 88 verstes, la partie sud-ouest des plaines Koumyck. Ce canal devait servir à l'arrosage de 60 000 déciatines. Le débit du canal principal est de 1,56 à 1,87 sag. cubes par seconde.

6. Non loin des prises des deux précédents canaux est dérivé du Soulak un troisième canal. Celui-ci parcourt une longueur de 65 verstes et aboutit à la mer Caspienne, près de la ville de Petrowsk. Le débit d'eau, à l'écluse, atteint 0,3314 sag. cubes.

Au sud du bassin du Soulak, au Daghestan, se trouvent des ravines étroites, arrosées par de petits canaux issus des ruisseaux. De plus vastes espaces irrigués se rencontrent sur le cours de l'Ozen. Depuis la ville de Petrowsk le littoral est désert jusqu'au bassin de Manace. Le long de cette rivière et de son affluent Paraoul s'étend un terrain arrosé qui se confond avec un autre situé sur le cours du Goubden. Plus loin encore, le réseau s'étend sur le littoral, coupé çà et là de terrains déserts. L'irrigation des environs de la ville de Derbent est alimentée par la rivière de Roubace, à l'aide du canal d'Arab-Archi, long d'environ 20 verstes.

De Derbent, la surface irriguée, en s'élargissant, occupe les bassins du Samour et d'autres rivières, puis s'étend jusqu'à Kasil-Bouran. L'eau est abondante, et l'irrigation s'opère au moyen de petits canaux construits d'une façon primitive.

Le *Transcaucase*, au point de vue des conditions climatériques et agricoles, se divise en deux parties. La partie ouest, comprenant le bassin du Rion et de ses affluents, se distingue par son climat humide. Il est possible d'y cultiver des espaces considérables sans le secours de l'irrigation artificielle.

Un tout autre caractère se manifeste dans la partie orientale du Transcaucase. Les vallées et les plaines situées dans les bassins du Koura (du sud) et de son affluent l'Araks présentent d'immenses étendues de terrains fertiles, où la culture ne se maintient que sur les surfaces artificiellement arrosées. Actuellement, une grande partie de cette contrée existe à l'état de steppes brûlées par le soleil, et qui ne sert qu'aux pâturages d'hiver. Les surfaces arrosées sont alimentées par l'eau des rivières et des ruisseaux (0,870 du volume total) des sources, des lacs et des marais (0,115), et des eaux souterraines (0,015). L'irrigation se pratique principalement dans les bassins des petits cours d'eau, où la dérivation a été obtenue sans grands travaux de terrassement.

Les vallées et les plaines qui bordent le cours de la Koura et de l'Araks sont arrosées sur une étendue relativement faible, parce que la dérivation de ces puissants cours d'eau exige des constructions d'une solidité exceptionnelle. Les travaux d'irrigation devant être entrepris sur une vaste échelle et sur un plan général, l'exécution, dans les détails, exige un nivellement exact, l'étude des propriétés du sol, et des observations météorologiques rigoureuses. Cet ensemble de conditions s'oppose à ce que la population puisse profiter suffisamment des eaux de la Koura et de l'Araks pour l'irrigation. Ces cours d'eau, sur presque toute leur étendue, coulent à travers des régions désertes, mais jouissant d'une fertilité remarquable, et gardant encore des vestiges d'habitation et d'ancienne culture. A certains endroits, où l'état des rives est plus particulièrement favorable, les habitants utilisent les grands cours d'eau en dérivant leurs eaux à l'aide de canaux de peu de capacité et mal construits.

Le procédé de dérivation est des plus primitifs.

Des pierres, des poutres, des fagots sont lancés dans le fleuve, et forment une digue qui arrête l'écoulement de l'eau. A chaque crue des eaux, ces ouvrages sont entraînés, ou le canal reçoit plus d'eau qu'il n'en faut; mais ils offrent l'avantage de n'exiger ni connaissances techniques ni dépenses particulières. Par contre, la régularisation du débit est singulièrement difficile. La surveillance sur la distribution des eaux, dans les canaux secondaires, est des plus compliquées.

La plupart des canaux sont dérivés au point où les cours d'eau sortent des montagnes dans la plaine. Le choix de ce lieu procure l'avantage d'un courant plus constant, et exige des travaux de terrassement beaucoup moins importants. Tous les villages s'efforcent d'obtenir l'eau dans ces conditions, dans le but d'éviter, autant que possible, les usurpations des voisins. La tendance à prendre l'eau aussi haut que possible dans les cours d'eau à l'aide de canaux séparés, a pour conséquence un allongement démesuré des canaux, et par suite, une perte d'eau et de travail pour l'entretien du canal.

Les travaux de dérivation des canaux sont exécutés par des ouvriers spéciaux, généralement des Persans, mais ils ne possèdent pas de connaissances suffisantes pour déterminer les pentes dans les canaux. Les pentes rapides sont le défaut commun aux canaux de cette région. Leur mode de conduite est tel, que l'on peut rarement déterminer à l'avance la surface qu'ils arroseront. Ils sont construits d'une façon irrégulière, avec des pentes variables et sans régularité de profil; aussi l'on y rencontre les vitesses les plus variées dans le courant. Mais, si l'art local se montre insuffisant dans l'établissement des canaux principaux, il faut toutefois rendre justice à l'excellent coup d'œil des habitants, pour ce qui concerne les embranchements et les rigoles à conduire à travers les champs.

Les branches secondaires de distribution devant arroser de 50 à 100 déciatines, et fournissant de 0,002 à 0,005 sag. cubes d'eau par seconde, se

comportent presque toujours avec régularité, sans laisser la moindre parcelle à sec. Tous les canaux en activité construits par les indigènes peuvent se classer en canaux principaux ou constants et en canaux temporaires. A la première catégorie appartiennent les canaux immédiatement dérivés des cours d'eau; dans la seconde rentrent les embranchements des canaux principaux, qui se modifient selon les mouvements de la culture, et ne fonctionnent qu'aux époques d'irrigation. Beaucoup d'entre eux modifient chaque année leur parcours ainsi que leurs dérivés, et le tracé primitif est labouré avec le reste du terrain.

L'excellence d'un plan d'irrigation s'exprime surtout par la longueur des canaux comparée à la surface à arroser. Dans le cas présent, ce principe ne peut être appliqué qu'aux canaux principaux d'un tracé constant.

On peut prendre au Transcaucase, comme terme de comparaison, 100 déciatines de terrain par verste de canal, tant principal que distributeur. Celui qui se rapproche le plus de cette moyenne est le canal Marinski, dans le Karaiaz. Mais il serait très difficile d'appliquer une pareille échelle de comparaison à l'irrigation locale, car on manque de données exactes sur la longueur des canaux et sur les périmètres desservis. Dans le gouvernement d'Erivan, l'irrigation occupe environ 50 000 déciatines, dont 9 000 dans la vallée de Sharour sont arrosées par près de 300 verstes de canaux, soit 1 verste par 30 déciatines. Le périmètre du Sharour possède un réseau irrigateur supérieur à celui d'autres contrées d'Erivan moins favorisées. Dans le gouvernement d'Elisawetpol, où la culture est presque impraticable sans le secours de l'arrosage, un dixième des terres est irrigué, soit une superficie de 110 000 déciatines desservies par un réseau de 50 000 verstes, ou 1 verste pour 22 déciatines avec un total de 700 canaux.

Le gouvernement de Tiflis possède un réseau de 1000 verstes desservant 30 000 déciatines, soit 1 verste pour 30 déciatines. Mais cette moyenne s'abaissera considérablement, si l'on excepte le canal Marinski, le mieux construit de la région.

Le Transcaucase est sillonné, il est vrai, de nombreux canaux, mais on y rencontre très rarement des ouvrages d'art.

Les écluses aux prises d'eau sont rares et leur absence rend difficile une distribution régulière des eaux dans les canaux, et les exposent à différentes éventualités; c'est, de plus, une des principales causes du désordre de l'irrigation. Dans plusieurs localités, lors de la répartition des eaux d'un canal entre les usagers, on établit des modules avec des poutres et des planches qui, au moyen de sillons de profondeur uniforme, mais de largeur variable, règlent le débit conformément aux besoins.

L'irrigation des gouvernements d'Elizawetpol et d'Erivan fournit quelques exemples de galeries souterraines, percées dans le but d'éviter l'allongement des canaux, nécessité par la présence d'une saillie, ou le peu de consistance des rives détrempées.

Les dimensions de ces galeries dépendent de celles du canal qu'elles

dominent; mais, en général, elles sont suffisantes pour qu'on y puisse travailler librement au percement et au nettoyage du canal.

Une autre sorte de galerie appelée Kahrys constitue un moyen de captation des eaux souterraines, répandu dans certaines parties du Caucase.

Le Kahrys est un drainage profond, dont la partie essentielle est une galerie souterraine établie dans la couche d'eau.

Pour plus de facilité dans l'exécution, on fore des puits séparés par un intervalle de 15 sag. les uns des autres et unis par la galerie.

La longueur des Kahrys est variable, depuis quelques dizaines de sagènes jusqu'à 2 ou 3 verstes. Aux procédés usités pour concentrer et conserver les eaux, il faut ajouter les réservoirs, jadis très répandus au Caucase. Ces réservoirs recueillent l'eau provenant de la fonte des neiges sur les hauteurs, et du débordement des cours d'eau. L'eau est rejetée des réservoirs dans les rivières pour relever le niveau pendant la saison d'été, ou bien répandue dans les terres par l'entremise des canaux.

La généralisation de ce procédé de concentration des eaux pourrait rendre les plus grands services à l'agriculture; car, de nos jours, la masse d'eau disponible aux crues du printemps est perdue sans aucun profit.

Les systèmes d'irrigation au Caucase peuvent se classer en trois catégories : l'infiltration, la submersion et l'irrigation souterraine.

Le Tshal est une sorte de méthode originale d'irrigation basée sur la submersion. Lors de la crue de la Koura et de l'Araks, vers leurs embouchures, l'eau est détournée dans des cavités ou fosses qui se dessèchent en automne, et peuvent être ensemencées. Ainsi le Tshal consiste à détremper profondément le sol, qui conservera son humidité jusqu'à l'année suivante.

Le prix de l'eau, au Caucase, est d'une évaluation difficile, car les entreprises d'irrigation puisent presque constamment l'eau dans les propriétés intéressées. En général, le prix de l'eau se confond avec celui de la terre, et les frais sont prélevés sous forme de récolte d'une part, c'est-à-dire que le prix de l'eau varie avec le prix des produits agricoles.

De tous les canaux dont jouissent les indigènes du Transcaucase, sans le secours d'un art plus parfait, les plus importants, sinon par la quantité d'eau, du moins par leur étendue, sont deux canaux dérivés de l'Araks, à l'endroit où le fleuve sort des gorges pour entrer dans la plaine. Ces canaux occupent, sauf dans le voisinage de la prise, le lit des anciens canaux, Giaour-Arkhi et Khani-Arkhi. Le premier, au dire des anciens historiens perses, a été restauré par Tamerlan, en 1390, et existait par conséquent bien avant.

Les fragments de ce canal qui nous sont restés attestent l'abondance de l'eau dans les rivières de ce pays, aujourd'hui bien appauvries. Le canal Giaour-Arkhi s'étend sur une longueur de 70 verstes. Mais l'eau parvient rarement à l'extrémité. Des mesurages pratiqués à la tête du canal ont indiqué un débit de 0,185 sagènes cubes par seconde; mais la moitié de l'eau déborde dès les premières verstes et forme un marécage. Le canal de

Khani-Arkhi, long de 80 verstes, suit le lit d'un vieux canal pendant 60 verstes, presque parallèlement au Giaour-Arkhi, et à 8 verstes environ de ce dernier.

Il existe au Transcaucase trois grands canaux d'irrigation : le Marinski, au Karaiaz ; le Schengirejewski, au Kir, et le Kakhanowski dans l'Arazdajon, dont la construction porte le caractère de puissantes entreprises hydrotechniques.

I. En 1862, le Gouvernement concéda à la Société pour le rétablissement du christianisme au Caucase, un terrain de 24 000 déciatines environ, dans la steppe de Karaiaz, à 25 verstes de Tifflis : le terrain tel qu'il était concédé, dépourvu d'eau, pouvait rapporter à la société un revenu annuel de 2 à 3 mille roubles. Mais, comme au Transcaucase des terres arrosées artificiellement possèdent une valeur considérable, on jugea utile de faire des travaux d'irrigation, pour obtenir du lot concédé un revenu plus important. Suivant le projet élaboré par les Ingénieurs Belly et Gab pour l'irrigation de la steppe de Karaiaz, le devis, s'élevant à 200 000 roubles, suffisait à couvrir les frais des travaux d'art, mais les obstacles tout à fait inattendus que rencontra l'entreprise au cours d'exécution révélèrent l'insuffisance des prévisions financières. De 1864 à 1867, la société dépensa, pour la construction de la principale écluse en bois, du canal principal, et de 16 canaux de répartition, ainsi que des écluses secondaires, 315 780 roubles y compris les 200 000 roubles du devis primitif; de 1868 à 1874, pour diverses constructions supplémentaires et réparations courantes, 180 867 roubles, au total 496 647 roubles. Cet excédent énorme étant dû, en partie, au climat insalubre et fiévreux de certaines localités, qui mit le prix de la main-d'œuvre au-dessus des prévisions. Pour faire passer à l'écluse l'eau de la Koura, très rapide et très variable dans son niveau et son courant, on dut construire des demi-barrages, non prévus par les devis.

Lorsque les premiers canaux distributeurs furent terminés, il fallut organiser une administration, pour l'affermage des terres et l'entretien des ouvrages. Là encore, certaines difficultés apparurent. Les alentours de la steppe sont habités par des peuplades musulmanes demi-nomades, s'occupant de préférence d'élevage, et qui, durant l'été, se dirigent avec tous leurs biens vers les montagnes lointaines, où elles trouvent des pâturages. Cette population, bien qu'elle eût besoin de terres labourables, regardait d'un œil craintif et méfiant l'entreprise dirigée par la société pour le rétablissement du christianisme.

La population chrétienne, établie loin du Karaiaz, ne croyait guère à la solidité du canal, non encore éprouvé, et redoutait l'influence pernicieuse du climat.

Il fallut deux ou trois années encore pour que peu à peu les fermiers se montrassent. On leur céda d'abord la terre à bas prix et à courte échéance, puis, dans la mesure du possible, les fermages furent haussés graduellement. Par ces procédés, le revenu de la propriété de 61 roubles en 1867 s'éleva à 25 689 roubles en 1873.

Cependant les ouvrages en bois, après dix années d'usage, tombèrent peu à peu hors de service, et le canal principal exigeait un curage radical. Le conseil de la société, voyant l'affaire se compliquer, et les nouveaux travaux menacer d'engloutir de grosses sommes, se résolut à céder l'entreprise au Gouvernement, ou à vendre les terres, avec tous les ouvrages hydrauliques, à des particuliers, à cette condition, que les acquéreurs formassent une association pour administrer le réseau d'irrigation. Pour arrêter le prix de vente de la propriété, on prit comme base la valeur des terres concédées par le Gouvernement augmenté de toutes les dépenses faites par la société en travaux, depuis le début jusqu'à l'époque de la vente, avec intérêt annuel à 5 pour 100 du capital. La somme trouvée, soit 709 671 roubles, fut répartie sur tous les lots, suivant leur superficie respective. Dans le but de faciliter les transactions, on accorda aux acheteurs la faculté d'échelonner leurs payements en vingt-six années, à condition que la portion du capital non payée porterait intérêt à 5 pour 100. Comme des réparations nombreuses s'imposaient à très bref délai, il fut décidé préalablement, qu'une somme de 50 000 roubles serait affectée à cet emploi. Vers cette époque, une inondation violente eut lieu et endommagea gravement les conduites, ce qui contraignit la société à dépenser de ce fait 320 233 roubles.

Cet événement, malheureux, mais rare, démontrait cependant la nécessité de constructions nouvelles destinées à protéger les canaux, et, en général, la propriété contre l'action dévastatrice des torrents qui s'élancent des montagnes. Aujourd'hui, l'écluse principale et le déversoir à l'extrémité du canal principal sont en fer, et reposent sur des fondations de pierre. Le coût de ces deux ouvrages s'élève à 72 000 roubles.

Le canal principal est long de 18 verstes et demie, et le canal préservatif est percé sur une longueur de 4 verstes et demie.

Les canaux distributeurs forment un réseau du total de 100 verstes.

Le canal principal est construit pour la portée de 1,5 sagène cube d'eau par seconde; mais comme le canal ne possède jamais la quantité d'eau normale, le « maximum » ne peut guère dépasser 1,1 sagène cube. Le côté faible du canal de Karaiaz réside dans ses ensablements. Outre les dépôts inévitables, à l'origine du canal, résultant de la masse et de l'agitation de l'eau, les parties moyennes du canal sont exposées à être obstruées par l'effet de pluies torrentielles et des vents de la steppe. Les canaux distributeurs se dirigent parallèlement, en ligne droite, vers la Koura, séparés par des intervalles d'une verste.

A une distance de 17 sagènes de chaque canal secondaire sont établis des colateurs, par lesquels l'excédent d'eau s'écoule dans la Koura.

Des 24 000 déciatines que contient la propriété de Karaïaz, on constate que 19 000 déciatines sont desservies par le réseau, mais 13 000 déciatines seulement reçoivent effectivement l'eau, dont 7000 sont devenues des propriétés particulières.

De 1864 à 1884, l'ensemble des travaux a absorbé 70 000 roubles.

En 1885, sur la sollicitation de la société, la propriété de Karaïaz a passé aux mains de l'État, auquel incombe actuellement la surveillance du matériel, l'affectation des revenus et l'encaissement des annuités, provenant de terres vendues.

Les avantages sur lesquels les acquéreurs des terres de Karaïaz comptaient, ont été loin de se réaliser. Le payement des annuités affectées au remboursement de la terre épuisait les ressources des acheteurs.

Le Gouvernement fut forcé en conséquence de faire certaines concessions sur la question des payements et de porter la période d'amortissement à trente-sept ans.

II. En 1872, le Gouvernement afferma pour vingt-quatre ans, à M. de Schan-Ghirei, une terre vacante du nom de « Kir ».

Cette terre, d'une superficie de 1950 déciatines, se trouve dans le district de Sharour-Daralaghez, gouvernement d'Erivan.

Elle s'étend dans le bassin de l'Arpat Tshaï, mais ne peut jouir des eaux de cette rivière par suite d'obstacles techniques, et surtout à cause du faible débit de la rivière.

Le fermier fut obligé d'utiliser pour son arrosage l'eau d'un autre bassin, baigné par le Bazar-Tshaï. A cet effet, l'eau puisée dans le Bazar-Tshaï, en amont, devait être amenée, en coupant la ligne de partage qui sépare le bassin de Bazar-Tshaï de celui de l'Arpat-Tshaï, se jetait dans ce dernier, et de là, était répandue dans les terres.

De cette manière, M. de Schan-Ghirei, pour arroser sa terre, fit l'application d'un procédé nouveau, encore inconnu au Caucase, c'est-à-dire l'irrigation à l'aide des eaux d'un autre bassin.

Tous les travaux d'irrigation exécutés par M. de Schan-Ghirei se divisent en deux parties : le canal supérieur de Bazar-Tchaï et le canal inférieur de l'Arpat-Tshaï.

Le premier canal, construit en 1875, prend naissance dans le cours supérieur du Bazar-Tshaï, à une hauteur de 8 000 pieds au-dessus du niveau de la mer. Un barrage, formé de pierres entassées dans le cours d'eau, a pratiqué l'orifice récepteur du canal.

Ce barrage, disposé obliquement sur toute la largeur de la rivière, pousse de la sorte une partie de l'eau dans le canal. Celui-ci est conduit parallèlement à la rivière, puis se relève insensiblement, suivant le bord du ravin. Ayant parcouru ainsi environ 3 verstes, et dominant alors toute la vallée, le canal débouche sur un plateau assez étroit, servant de transition entre les deux bassins.

De là, le canal tourne dans la direction de l'Arpat-Tshaï, et, à 6 verstes de son point de départ, tombe dans un des ravins aboutissant à la rivière. Puis, les eaux descendent, et, après avoir coupé le canal de Ghindava, s'élancent, avec une rapidité extrême à une distance de 8 verstes et se jettent dans l'Arpat-Tshaï.

En août 1881, le canal fournissait 0,085 sagènes cubes d'eau par seconde, le tiers environ de l'eau coulant dans le Bazar-Tshaï, à la tête du canal. La conduite des eaux par le canal de Bazar-Tshaï répond exactement au caractère de la localité; car, la violence des crues et la surprenante vitesse des courants s'opposent à la construction d'ouvrages techniques régulateurs des eaux.

Cependant ce mode de captation des eaux est à la fois simple et pratique.

Le canal inférieur de l'Arpat-Tshaï commence au point où la rivière a formé un bras sur la rive gauche.

Le barrage est formé de paille et de fagots.

A l'orifice du canal est établie une petite écluse de pierre, longue de 4 archines sur une de largeur, munie de quatre ouvertures rectangulaires. L'aire de ces ouvertures est de 32 pieds carrés.

A une distance d'une demi-verste, le canal suit une tranchée à fond rocailleux, ou serpente à travers les rocs qui bordent la rivière.

Ces rocs, de plus en plus escarpés, finissent par surplomber verticalement, et les parois du canal sont soutenues par des murailles de 10 à 70 sagènes de longueur et de 2 à 5 archines de hauteur.

Plus loin, le canal suit les pentes de la dernière chaîne des monts Daralaghes, dont les parties extrêmes font de longs ressauts. Pour éviter aux canaux de trop longs circuits dans ces parages, on a percé 10 tunnels, coupant transversalement la chaîne.

La longueur totale de ces tunnels atteint 600 sagènes sur 1 de largeur et de 2 1/2 à 4 de hauteur. Le canal, après avoir traversé les tunnels et longé les hauteurs, arrive par une pente unie sur la terre de Kir.

La longueur du canal est de 35 verstes.

Ainsi les eaux exécutent tout le trajet de la rivière Bazar-Tshaï jusqu'à la propriété, distante de 120 verstes, descendant d'une hauteur de 8 000 pieds à 3 000, soit à 5 000 pieds de différence de niveau. Les ouvrages d'art du canal sont édifiés très grossièrement, et même certains d'entre eux ne présentent aucune stabilité, comme, par exemple, l'écluse et les aqueducs.

Le choix du point de départ du canal d'Arpat-Tshai n'a pas été heureux, car la prise d'eau ne présente aucune garantie d'un service régulier. Le canal peut fournir de 0,17 à 0,23 sag. cub. par seconde, soit 1,2 litre en moyenne par déciatine, ce qui est tout à fait suffisant pour l'irrigation de la propriété.

L'ensemble des travaux a exigé 112 000 roubles, soit en chiffre moyen 56 rbls par déciatine irriguée.

III. En 1870, l'État afferma pour soixante-cinq ans, à M. Kochanow, 10 000 déciatines de terrains incultes situés dans le gouvernement d'Érivan et appelés Arazdaïan.

Le fermier s'engageait, pendant les 4 premières années, à creuser un

canal d'irrigation dérivé de l'Araks. Sur toute la superficie de ces terrains l'irrigation pouvait être appliquée à 8385 déciatines.

Les travaux de canalisation commencèrent en 1872; mais les inondations et les difficultés firent augmenter le délai de 3 ans, jusqu'en 1878.

A cette époque les dépenses atteignaient 400 000 rbls.

Par considération pour les difficultés de l'entreprise et les obstacles imprévus, un prêt fut consenti au fermier par le Gouvernement, en 1881, pour une somme de 150 000 rbls; de plus certaines facilités furent accordées, quant au payement du fermage.

En 1882, le canal pouvait arroser 2000 déciatines.

La même année, le Gouvernement consentit à prolonger la période des travaux pour le canal principal, de 7 années, à dater de 1881, à cette condition qu'en 1886 le profil du canal principal fût de dimensions suffisantes pour arroser la moitié des terrains susceptibles d'irrigation, c'est-à-dire 4 000 déciatines, et à l'échéance, la totalité des 8 000 déciatines.

Les travaux accomplis ne sauraient faire prévoir l'exécution de cette clause.

Le réseau irrigateur de l'Arazdaïan se compose d'un canal principal et de 9 canaux secondaires ou distributeurs. La longueur du canal principal est de 30 verstes. Pendant les 26 premières verstes de son trajet il reste exclusivement canal conducteur, mais, plus loin, il devient canal distributeur, en ce sens qu'il arrose immédiatement les terres qu'il domine, et enfin à 1 3/4 de verste de l'Araks, il entre dans un fossé, et sert dès lors, uniquement de colateur à l'excédent d'eau.

Les canaux secondaires parcourent un trajet de 76 verstes et demie.

L'écluse principale sur les bords de l'Araks est en pierre. Les écluses des canaux secondaires sont toutes construites suivant un type uniforme en pierre avec des portes en bois.

D'après le projet primitif, le canal devait fournir 1 sagène cub. par seconde pour l'arrosage de 10 000 déc.; la quantité d'eau est, en fait, beaucoup moindre. On a calculé que, si le profil du canal était rigoureusement conforme au projet, avec une section de 2,25 sag. car., on obtiendrait de 0,75 à 0,80 de sag. cub. d'eau.

Mais, comme les terrassements sont loin d'être terminés et que dans les premières verstes le profil n'est que de 1 sag. car., le canal ne peut fournir que 0,3 sag. cub. par seconde.

Les dépenses générales entraînées par les travaux d'irrigation de la steppe d'Arazdaïan s'élèvent à 500 000 rbls, dont 200 000 rbls pour la construction du canal principal, 100 000 pour les travaux secondaires, enfin le reste pour tous les travaux supplémentaires, des dépenses imprévues, en y comprenant les honoraires des ingénieurs qui ont dirigé l'entreprise.

Ainsi, la dépense moyenne pour une déciatine arrosée s'élève à 50 ou 60 roubles.

Les espaces cultivés et arrosés dans les possessions russes en *Asie centrale*, s'étendent dans les bassins de Sir-Daria et du Zeravshan, ainsi que dans les oasis de la province Transcaspienne.

Le Sir-Daria, grossi d'une quantité d'affluents, entretient une riche culture dans la province de *Fergane*; cette province présente l'aspect d'une large et fertile vallée.

Les hautes montagnes qui l'entourent, couvertes de neiges éternelles et de glaciers, donnent de grandes masses d'eau courante.

La province entière occupe une superficie de 8 millions de déciatines. La population indigène dispose de 1 125 000 déciatines, dont 545 000 sont susceptibles d'irrigation. Mais elle ne cultive que 365 000 déciatines, c'est-à-dire 45 pour 100 de la totalité des terres arrosables.

De toutes les possessions de la Russie dans l'Asie centrale, Fergane, au point de vue de l'irrigation, est placée dans les meilleures conditions. Les cours d'eau principaux sont : le Kara-Daria et le Narin, qui se joignent pour former le Sir-Daria, ses affluents le Usfor, le Sock, etc.

La propriété spéciale du sol nommé levasse (mélange de marne et d'argile) est de troubler l'eau au moindre mouvement et de se laisser charrier par elle. Cette propriété permet de construire d'excellents canaux avec de très faibles inclinaisons (de $\frac{1}{2000}$ jusque $\frac{1}{2500}$ pour les grandes conduites).

La quantité d'eau se trouvant à la disposition des habitants suffirait à arroser un espace neuf fois plus grand que celui actuellement en culture. L'irrigation est dans un état des plus primitifs. Les habitants usent de l'eau selon les coutumes locales et nomment des délégués pour l'administration des eaux. L'absence de constructions techniques, l'ignorance de l'art de régler la distribution des eaux, l'absence de moyens propres à combattre l'effet destructif de l'eau, exposent les habitants aux horreurs de l'inondation.

De tous les ouvrages d'irrigation, les plus remarquables, sont : le canal d'Ianghi-Arik, qui amène l'eau du Norin dans le district de Namonanghen, et celui de Oulougnar, entrepris en 1868, par Khoudoïar-Khan, pour arroser une partie du désert.

Ce canal partant du Kara-Daria avait un parcours de 55 verstes ; mais l'eau s'est ouvert un passage et a pris la direction du nord.

Après avoir franchi, près de la ville de Khodjent, les limites de *la province* à laquelle il donne son nom, le *Sir-Daria* ne rencontre pas de grands centres de culture.

Les eaux ne sont détournées que pour arroser dans une mesure tout à fait insignifiante les champs des ignorants cultivateurs des Kirghises. Ainsi, malgré la grande richesse en eau, qui autrefois rendait florissante la vie de cette vallée, le Sir-Daria contribue maintenant très peu à la culture. Ses affluents ont une importance dominante par leurs systèmes d'irrigation vastes et compliqués.

Le périmètre de culture le plus important et le plus étendu est celui de Tashkent, ou de Kouramin, sur le Tshir-Tshik, l'Angren et le Kélès. La première de ces rivières a un grand volume d'eau. A une distance de 100 verstes, l'eau dérive dans une quantité de canaux, qui transforment la vallée, d'une largeur moyenne de 20 verstes, en un marécage, couvert d'abondantes plantations de riz. Les canaux particulièrement remarquables sont : le canal de Karassou, qui se jette dans l'Angren, le Bassou, avec ses nombreux embranchements, arrosant le territoire de Tashkent et qui se jette dans le Sir-Daria, enfin le Zakh-Arik, qui se jette dans le Kélès.

Ces canaux, longs de 100 verstes chacun, ont été percés dans l'antiquité.

Le réserve d'eau contenue dans le Tshir-Tshik permettrait de doubler les moyens d'arrosage actuellement existant dans son bassin.

Les terrains des steppes s'y prêtent bien sur la rive droite, entre le Tshir-Tshik et le Kélès, où des travaux importants sont déjà commencés.

La rivière d'Angren, notablement moins grande que le Tshir-Tshik, grossit ses eaux de celles du canal de Karassou. La culture, au moyen de l'irrigation, se concentre dans la partie supérieure de la vallée. Le Kélès coule dans une vallée étroite, et la pauvreté de ses eaux ne lui permet pas d'arroser toute la partie arable de son bassin. En conséquence, on résolut, pour renforcer son cours, d'établir un canal de communication avec le Tshir-Tshik et d'agrandir le canal de Zakh-Arik.

Le périmètre de culture, au Khodjent, est limité, au nord, par la steppe de Golodnaïa, et arrosé par de nombreux ruisseaux et rivières, appartenant au bassin de Sir-Daria ; mais les eaux de celui-ci, profondément encaissées, ne peuvent être utilisées pour l'irrigation. Le périmètre de Tshikment présente actuellement quelques restes de culture.

L'irrigation y est alimentée par de petits cours d'eau ; on ne trouve point de grands canaux. Il en a existé, à une époque reculée, qui étaient alimentés par les eaux abondantes de l'Aris. La restauration du réseau sera l'œuvre de l'avenir.

Les terres cultivées, dans le district de Turkestan, sont principalement arrosées par les eaux des sources et des rivières.

Le Sir-Daria arrose un espace cultivé de petite étendue. La vallée a gardé des traces d'anciens canaux.

Le périmètre cultivé d'Alouli-éat suit le cours du Talas, qui se perd dans les marécages du lac Karakoul, et dans les sables du désert de Mouiouk-Koum. Le Talas fournit des eaux abondantes et un limon très fertile. Au-dessous de la ville d'Alouli-éat, la rivière se divise en plusieurs branches vraisemblablement formées par le lit d'anciens canaux. Là, commence la distribution des eaux d'irrigation, au moyen de petits canaux. Outre le Talas, on emploie encore à l'irrigation la rivière d'Assa.

La construction des canaux d'irrigation dans tous les périmètres culti-

vés de cette région a coûté à la population indigène d'énormes dépenses de travail et d'argent. L'ancien procédé, employé pour l'érection des ouvrages d'irrigation, était basé sur la coopération de la commune, dont tous les membres donnaient leur travail. Ce procédé est usité dans une large mesure, actuellement, en Turkestan.

L'usage de l'eau, dans l'Asie centrale, a un caractère communal. Les intéressés choisissent un organisateur, un mirab, et contribuent tous aux dépenses. Le mirab fait une étude, établit le devis des travaux et le montant de la cotisation. De cette manière, sous l'administration russe, et particulièrement, dans le gouvernement de Sir-Daria, de nombreux travaux ont été exécutés, et la surface de certains périmètres de culture s'est notablement élargie.

Les principes essentiels qui régissent le droit usuel ont pour base la loi musulmane, savoir : 1° L'eau ne saurait être une propriété individuelle; donc, le droit de jouissance appartient à tous, et 2° en cas de pénurie, le droit est attribué aux usagers plus anciens. Avec le temps, ces principes tombèrent en désuétude, et l'eau est devenue la propriété de quiconque la possède. Généralement le droit du plus fort tranche le différend, d'où des querelles et des conflits. Le désordre règne dans les parties où l'eau est rare, et où l'arrosage exige un tour de rôle.

La conquête russe a rencontré, dans la région dévastée du Sir-Daria, outre les anciens canaux détériorés, de nombreux réseaux d'irrigation abandonnés, dont la restauration demandait un certain travail.

Après la participation du pays, la population se mit au travail et des progrès considérables ont été réalisés.

Parmi les entreprises auxquelles la population a fourni son travail, sous l'initiative du Gouvernement, mais à ses propres risques, on remarque : 1° le curage du canal Zakh-Arik, en 1871; 2° la restauration de l'ancien canal Tshieli, dans la plaine de Kak-Irim, district de Pérowski, entre les ravins de la chaîne de Karatowski et la rivière Sir-Daria; les travaux commencèrent en 1883 et, en 1885, 7 000 déciatines étaient déjà plantées de cotonniers; 3° la construction des Kahris, et le curage des sources, près de la ville de Turkestan; 4° l'élargissement de la prise d'eau de l'ancien canal Delverzin, dérivé du Sir-Daria, et arrosant un lot de terres, dans la steppe Djanboula. Le Gouvernement a entrepris les travaux d'irrigation pour arroser la steppe de Tshinadz-Djizale, ou Golodnaïa (de la famine).

Cette steppe n'est qu'une plaine absolument plate et déserte s'étendant sur le pourtour de la chaîne de Turkestan, jusqu'aux rives du Sir-Daria, à gauche, et passant au nord-ouest, dans les plaines sablonneuses du désert de Kizil-Koumski. Au printemps seulement, en mars et avril, cette steppe se couvre de verdure; en mai, la végétation est déjà brûlée par le soleil. Elle présentait jadis un autre aspect. Une notable partie était irriguée par le Zéravshan et le Sir-Daria au moyen de canaux, dont les restes sont parvenus jusqu'à nous.

En 1872, à la suite d'une enquête, on commença la construction d'un nouveau canal dérivé de Sir-Daria, et pouvant arroser la moitié de la steppe, soit 40 000 déciatines.

L'emplacement choisi était au-dessous de la ville de Khodjent. La dépense prévue était de 700 000 roubles pour un canal de 100 verstes, avec le concours de la population. Le canal, commencé en 1874; les travaux continuèrent jusqu'en 1878; en 1879, ils furent interrompus, et, en 1883, complètement suspendus.

Pour conduire le canal à 12 1/2 verstes on avait dépensé 125 840 roubles.

La reprise des travaux ne put avoir lieu, à cause de l'exécution dispendieuse du projet, du manque de bras et des erreurs des études premières. Cependant, l'idée de féconder la steppe ne fut pas abandonnée. En 1885, d'immenses travaux furent commencés avec des capitaux privés, et, aujourd'hui, la restauration du vieux canal Urumbaï est presque terminée.

Ce canal est dérivé du Sir-Daria, à 35 verstes en amont de la ville de Tshinadza.

On a reconstruit encore un autre canal, également dérivé du Sir-Daria, et dirigé vers le centre même de la steppe; ce canal doit couper l'ancien lit du Sir-Daria, aujourd'hui à sec, appelé Kizil-Daria.

Par cette voie, les eaux du Sir-Daria peuvent atteindre la frontière du Khanat de Boukhara.

Au nombre des travaux les plus remarquables, entrepris par les capitaux privés, on remarque encore le canal d'Iskander-Arik, district de Kouraminsk, dans la steppe au nord de la ville de Tashkent, entre les vallées du Tshir-Tshik et du Kélès. En 1881, il a été dressé, pour l'irrigation de la partie de la steppe restée stérile, un projet de canal, issu du Tshir-Tshik et allant jusqu'au Kélès.

Le coût de ce canal atteignait 130 000 roubles, pour une longueur de 120 verstes, devant arroser 16 000 déciatines.

En 1883, l'exécution de ce projet fut entreprise par un particulier.

En 1885, les travaux terminés, en partie, on fit, sur le canal, qui atteignait alors 50 verstes, des essais, qui démontrèrent le succès de l'entreprise.

Le *Zeravshan*, débouchant dans une large vallée et grossi des eaux du Fan du Kshtout, du Magan-Daria et d'autres affluents, fournit en abondance de l'eau d'irrigation.

L'arrosage des terres cultivées commence non loin de la ville de Pendjekent, et s'étend sur les oasis de la *province de Samarkand* et du Khanat de Boukhara, auquel appartient le cours inférieur du fleuve. Vers le milieu de son cours, il se sépare en deux branches : l'Ak-Daria et le Kara-Daria, qui se réunissent de nouveau, sous la ville de Khatiritsh, à la frontière du Khanat de Boukhara.

L'état du courant et les variations de hauteur dans la rivière exigent une surveillance méthodique sur le niveau d'eau, et sur la dérivation, dans les deux parties de son cours, celle de Samarkande et celle de Boukhara. En vertu de l'ordre de distribution des eaux, établi en 1878, par rapport aux provinces de Samarkande et au Khanat de Boukhara, la moitié de l'eau est affectée à l'arrosage des terres de Samarkande, et l'autre moitié doit être dirigée sur les frontières du Khanat.

Les oasis de la province de Samarkande et de Boukhara sont arrosées par le Zéravshan, les affluents de ce dernier, enfin, par les affluents de la rive gauche du Sir-Daria. La vallée du Zéravshan possède 126 de ces oasis, dont 83 situées dans la province de Samarkande et 43 dans le Boukhara. Ces oasis renferment une superficie de terres cultivées au moyen de l'irrigation, évaluée à 1 006 800 tanaps pour la province de Samarkande, soit 262 185 déciatines, et, dans le Khanat de Boukhara, à 1 million 1/4 de tanaps. La surface totale équivaut à 6 267 verstes carrées, à raison de 1 verste carrée pour 400 tanaps (le tanap = 625 sagènes carrées). Jusqu'en 1872 on comptait dans la province de Samarkande 494 662 tanaps de terres arrosées. Le développement de la superficie des terrains irrigués est dû à la garantie donnée à l'agriculture par une fourniture d'eau plus régulière. Ces résultats ont été obtenus par la remise en état des prises d'eau du Zéravshan. Les principaux canaux et leurs branches ont été déblayés et munis de digues solides. Ces travaux, exécutés par les soins de l'administration russe, sont entretenus par les populations.

Le réseau du Zéravshan se divise en trois sections, dans la province de Samarkande; 1° de Soudjin jusqu'aux hauteurs Tshoupan-Ata, où le fleuve bifurque, et forme à droite l'Ak-Daria et à gauche le Kara-Daria; 29 canaux sont échelonnés sur un parcours de 76 verstes; 2° le réseau de l'Ak-Daria s'étend jusqu'à 102 verstes et forme 24 canaux; 3° le réseau du Kar-Daria long de 27 verstes avec 30 canaux.

Les canaux d'une importance particulière sont : le Bouloungour, parcourant 112 verstes, creusé il y a plus de trois siècles; le Mourza-Arik avec 34 verstes de longueur, et près de quatre siècles et demi d'existence, il communique avec le Bouloungour; le Dargam, 56 verstes, quatre siècles d'existence; le Tuïa-Tartar, 19 verstes; le Kazan, avec 40 verstes, et le Douana, avec 44 verstes, sont les canaux les plus récents.

Les dimensions des canaux croissent en proportion des progrès du périmètre irrigué. En raison de l'état topographique du pays, tous les canaux rejettent à la rivière les eaux superflues. Les canaux sont munis, à leur point de départ, de régulateurs et de réservoirs destinés à renforcer ou à restreindre le débit; à leur extrémité se trouvent des canaux colateurs. Aucun canal ne possède une forme et une direction régulières, quoique l'état topographique du sol permette de réunir ces deux importantes conditions. Les indigènes emploient des procédés très primitifs pour la construction des canaux, et l'absence de connaissances techniques chez eux est

cause que les canaux occupent une surface double de celle qui est nécessaires. Ces vices de construction font perdre jusqu'à 30 pour 100 de la masse d'eau disponible.

La vaste contrée, connue sous le nom de territoire *Transcaspien*, est bornée au nord et au nord-est par le Khiva, à l'est et au sud-est par le Boukhara et l'Afghanistan, au sud par la Perse, à l'ouest par la mer Caspienne. Elle s'étend sur une superficie de 1000 verstes de côté et est arrosée seulement par trois petites rivières, groupées dans l'oasis de Merv; ce sont : le Koushka, le Mourgab et le Tendjent. Le reste du pays ne possède que de petits ruisseaux, des lacs et des sources.

Les travaux entrepris par les populations pour se procurer de l'eau dans de pareilles conditions, et la préserver de l'ardeur des vents et du soleil, fournissent un exemple d'énergie et d'activité remarquables. Pour que l'eau des sources captées ne s'évapore pas au soleil, les indigènes la conduisent sous des Kahrys, galeries souterraines. Ces galeries ont quelquefois 20 verstes et plus de longueur, et amènent l'eau des lacs et des sources là où le besoin se fait sentir. Elles servent de lit aux ruisseaux qui sortent du lac ou des sources des montagnes. Pour éviter l'obstruction des galeries, on y fore des puits à des intervalles de 15 sagènes environ.

Le Tendjent, pendant les mois de mars, avril, mai et juin, roule des eaux abondantes, malgré la masse d'eau considérable puisée dans le cours supérieur, pour l'arrosage de l'oasis de Hérat. La rivière est complètement à sec en automne et en hiver.

Le Mourgab fournit, au printemps et en été, un débit de 32 sagènes cubes; en hiver, de 8 sagènes cubes par seconde.

Nous allons donner sommairement un aperçu de l'état de l'irrigation, dans la province de *Merv*, lorsqu'elle fut annexée par la Russie en 1884. Sur le Mourgab, à 25 verstes au-dessus de la ville de Merv, est établi le barrage appelé « Koushout-Khan-bent », qui donne naissance à deux canaux principaux. L'un de ces canaux, le Tokhtamysh, arrose la partie droite de l'oasis, et l'autre, l'Atimysh, la partie gauche. A 56 verstes au-dessus du barrage de Koushout-bent, se trouve le barrage de Kasi-bent, d'où part le canal qui suit la rive g. du Mourgab. Ces deux barrages permettent d'arroser 40 000 déc. On aperçoit encore, dans cette région, les traces d'une ancienne et vaste canalisation. On y remarque particulièrement les ruines du barrage de Sultan-bent. Ce barrage, construit au douzième siècle par le sultan Sadofor, haussait le niveau de l'eau de 4 sagènes; aussi l'arrosage ne commençait-il qu'à une distance de 35 verstes de la prise d'eau. Le barrage fut détruit, en 1784, par l'émir de Boukhara, pendant la conquête de Merv. Après l'annexion de cette oasis à la Russie, on s'occupa de la reconstruction du barrage de Sultan-bent. Dans le projet de M. Kosello-Poklevski, le barrage nouveau est situé à 2 sagènes en amont de l'ancien, et se trouve au milieu des plus anciens ouvrages de ce pays.

Pour rendre l'irrigation praticable dès l'embouchure du canal, le bar-

rage doit surélever les eaux de 6 sagènes. Sa longueur est de 250 sagènes avec 9 de hauteur et 45 d'épaisseur à la base. Deux canaux serviront à l'irrigation des deux rives du Mourgab. Chacun d'eux, large de 20 sagènes au fond, doit fournir un débit de 12 sagènes cubes par seconde. On évalue à 200 000 déc. la superficie arrosable par ces canaux.

De tous les ouvrages d'irrigation que nous avons décrits, il s'en trouve un petit nombre seulement, qui aient été entrepris avec des procédés scientifiques en vue d'un résultat déterminé en rapport avec le capital employé.

Tels sont, au Transcaucase, les canaux de Karaïaz, d'Arazdaïan et de Schan-Ghirei. L'arrosage de la steppe de la Golodnaja, au Turkestan, et la construction du barrage de Sultan-bent, dans l'oasis de Merv, ne sont pas des ouvrages terminés et n'ont d'ailleurs pas donné, jusqu'à présent, de résultats précis.

Les trois grands canaux susmentionnés du Transcaucase ont été construits dans des conditions différentes de celles qu'on rencontre dans l'Europe occidentale.

Ces travaux devant créer la culture, dans des contrées fertiles, il est vrai, mais inhabitées, l'on ne pouvait se baser, pour l'évaluation des bénéfices à venir, ni sur l'accroissement de la productivité des terres, ni sur l'amélioration de la culture, au moyen de l'arrosage. Les risques résultent non seulement de l'entreprise elle-même, mais encore de la culture qui en naîtra.

Ces trois entreprises ont été exécutées sur des terrains appartenant à l'État, et cédées aux entrepreneurs, à des conditions avantageuses pour ceux-ci. Le prix de l'eau n'a pas fait l'objet d'une estimation spéciale, car il se confondait dans le loyer de la terre et les annuités.

Le canal de Karaïaz est parvenu à son état actuel, après bien des modifications et des améliorations, qui ont exigé des dépenses superflues. Le canal d'Arazdaïan ne saurait être considéré comme étant arrivé à un état définitif, attendu que le projet primitif a exigé des dépenses supérieures aux prévisions et a, de ce fait, ralenti les travaux.

Les résultats obtenus par l'irrigation des steppes du Karaïaz, de Kir et dans une certaine mesure de Arazdaïan, démontrent la possibilité en Russie des entreprises d'irrigation, ou la certitude, dans un avenir prochain, de conditions plus favorables. L'étude des localités susceptibles d'irrigation, le jaugeage des principales rivières du Caucase, la réglementation du droit de jouissance des eaux, faciliteront les projets de canalisation, en permettant une estimation plus précise des résultats futurs. L'établissement d'agents préposés à l'administration des eaux aura pour effet de provoquer l'activité et l'initiative, tant des particuliers que du Gouvernement, en ce qui touche la construction d'ouvrages nouveaux ou la réparation des anciens en même temps que les capitaux privés permettront de donner à ces besoins une plus large satisfaction.

Les travaux d'irrigation de la Société Danoise pour le défrichement des Landes.

Afin de donner une idée de la nature particulière de ces travaux, il sera nécessaire de faire précéder ce compte rendu d'un aperçu général du but et de l'œuvre de la « Société Danoise des Landes ».

Lorsque la Société des Landes fut fondée (1866), les landes couvraient sur la surface totale du Danemark actuel une superficie d'environ 140 milles danois carrés (7 700 kilomètres carrés) qui se trouvaient surtout dans l'intérieur du Jutland; cette superficie était toutefois traversée par plusieurs cours d'eau plus ou moins grands, qui coulaient de l'est vers l'ouest, et se déversaient dans la mer du Nord.

Cette contrée n'a pas toujours été couverte de bruyère. Jadis, l'intérieur du Jutland a été plus ou moins couvert de forêts d'une qualité tantôt excellente, tantôt médiocre, qui fournissaient pendant de longues années un appui considérable à l'agriculture de ces temps, soit par la pâture qu'elles procuraient au bétail, soit par la paisson du gland et de la faîne, qui permettait aux habitants d'entretenir un grand nombre de cochons. A l'époque des Valdemar, c'est-à-dire au douzième siècle, les forêts se trouvaient déjà en décadence, et vers le seizième siècle de notre ère elles avaient presque disparu, ce qui fit que l'agriculture dut se restreindre aux rares vallées où il y avait des prairies, tandis que le reste des forêts de l'intérieur fut successivement transformé, d'abord en broussailles, et enfin en bruyère inculte. Les populations d'autrefois ont elles-mêmes causé cette dévastation en traitant les forêts de la manière la plus inconsidérée, sans songer que les forêts étaient la condition principale pour qu'elles pussent continuer à vivre dans le pays.

Pendant plusieurs siècles, jusque vers l'année 1848, l'intérieur du Jutland ne formait, pour ainsi dire, qu'une seule lande, grande et triste, interrompue par-ci et par-là par de longues prairies étroites, mais souriantes, le long desquelles les rares habitants de la prairie s'étaient établis. Et même, l'existence de ceux-ci était menacée, les prairies ayant commencé à se transformer en bruyère, parce que le niveau des cours d'eau, qui s'enfonçaient de plus en plus dans le sol, s'abaissait outre mesure.

Toute cette contrée consiste, soit en terrains sablonneux : dans les parties nommées « Flader », plaines presque horizontales, qui ont cependant une pente presque imperceptible de 1 sur 2000 de l'est vers la côte occidentale à peu près comme les landes de France, et dont les rivières susnommées sont enfoncées dans le sol à plus ou moins de profondeur ; soit en collines qui s'élèvent comme des îles au-dessus des plaines qui les entourent de tous côtés; le sol de ces îles est un peu meilleur que celui des plaines; ce n'est que du sable, il est vrai, mais ce sable contient de 5 à 10 pour 100 d'argile, et l'on y trouve aussi la marne, si indispensable à

l'agriculture et qu'on ne voit guère dans les plaines. Les plaines se trouvant en aval des îles-collines, il en suit que l'eau des rivières s'assemble successivement dans les plaines, ce qui explique pourquoi celles-ci possèdent les cours d'eau les plus considérables, les îles-collines au contraire, les plus petits.

L'« Ahl », le sous-sol si connu aussi dans les landes de France, se trouve également en Jutland, surtout dans les plaines, mais il est rare que son épaisseur soit assez considérable pour empêcher l'utilisation du terrain ; en général, on peut le rendre inoffensif en poussant le labourage de la terre jusqu'à 15 pouces danois (40 centimètres de profondeur).

La situation malheureuse des landes attira l'attention de toute l'Europe vers le milieu du dernier siècle, et l'on commença alors en France, ainsi que dans l'Allemagne du Nord et en Danemark, des travaux tendant à faire cesser cet état de choses. La France a achevé son œuvre maintenant, et c'est le premier pays qui ait transformé ses déserts et ses landes en terre fertile; l'Allemagne du Nord et la Hollande ont fait beaucoup, il est vrai, pendant les derniers 140 ans, mais il leur reste encore tout autant à faire. Le petit Danemark, avec son étendue relativement considérable de landes, qui ne comprenaient en 1866 guère moins que la sixième partie de la superficie totale du pays, ne fit que peu de choses de 1730 jusqu'à 1866. Quelques colonisations ne réussirent guère, et quant aux plantations exécutées surtout par le Gouvernement, il n'y en eut qu'une partie qui réussit.

On recommença plusieurs fois, mais sans résultat visible, et en 1864, lorsque le Danemark perdit le Slesvig et le Holstein, les landes du Jutland avaient la même étendue et étaient tout aussi désertes que jamais.

C'est cette perte malheureuse surtout qui anima la nation à de nouveaux efforts dans différentes directions et qui fit que la question du défrichement des landes fut soulevée de nouveau. Car c'est en 1866 que fut fondée la « Société danoise de défrichement des landes », qui a pour but de favoriser la transformation des landes en terre fertile, au moyen des travaux suivants :

1° Construction de canaux d'irrigation;

2° Plantations en grand ;

3° Plantations plus restreintes, autour des propriétés et des jardins et clôtures, à l'aide de haies vives ;

4° Desséchement des terrains marécageux ;

5° Recherche et transport de la marne,

et l'on y ajouta plus tard :

6° Mise en culture des marais.

La coopération de la Société est cependant restreinte à la direction gratuite qu'elle fournit aux habitants des landes, en rédigeant les projets des travaux préparatoires, en levant les plans nécessaires et en surveillant l'exécution des travaux ; les habitants devant toutefois en général acquitter les frais de déplacement des ingénieurs de la Société.

La Société s'applique également à obtenir de la part de l'État, ou de diverses institutions, des subventions tendant à faciliter les diverses entreprises des habitants des landes.

La Société des landes s'est développée à un tel point pendant les 23 ans de son existence, qu'elle a fini par devenir une institution importante pour le Danemark; elle est appréciée de tous côtés et de tous les partis politiques, et elle a fini par obtenir des subventions considérables de la part de l'État.

Ainsi, d'après le budget de la Société pour l'année 1889 :

La dépense s'élève à environ 106 000 Kroner, soit 140 000 francs,
et la recette — 120 000, — 160 000 —
en outre le montant de la subvention de l'État, qui est répartie par l'intermédiaire de la Société et destinée à des plantations, grandes et petites, atteint cette année la somme de 65 000 Kroner, soit 87 000 francs.

La Société est administrée par une direction de trois membres, un Conseil d'administration de vingt membres et par vingt-cinq fonctionnaires payés, pour la plupart ingénieurs et forestiers, qui parcourent constamment les landes afin d'y inspecter les travaux et les divers établissements; la cotisation des membres est perçue par environ cent agents comptables non payés.

La Société a de plus créé, dans le cours de ces 23 ans, 450 plantations en grand, d'une étendue totale de 36 700 fonder Land (environ 20 000 hectares), dont la plus grande partie est mise en défense. Pendant la même période, les fonds nécessaires ont été alloués à l'État pour la création de plantations de la même étendue.

La Société fait constamment rechercher la marne; on a trouvé jusqu'ici environ 1000 marnières, et l'on a construit deux chemins de fer d'une longueur totale de 7 milles danois (environ 53 kilomètres), destinés au transport de la marne aux contrées pauvres en marne. Les voies ferrées ont coûté environ 40 000 francs par mille danois (environ 7400 francs par kilomètre); l'une est exploitée à l'aide de chevaux, sur des rails de 5 kilogrammes et demi par yard de longueur; l'autre par une locomotive sur des rails de 7 kilos et demi par yard de longueur. En outre, la Société s'est entendue avec l'administration des chemins de fer de l'État pour qu'elle transporte la marne à un prix très modéré qui ne surpasse guère ce que le transport lui coûte à elle-même, mais seulement pour les transports en grand. Cette année on transportera de la sorte 600 wagons chargés.

Quoique la Société ait limité son œuvre à la direction des travaux seulement, elle s'est vue forcée cependant d'acquérir des étendues considérables de lande pour y faire des travaux d'irrigation, de plantation et de culture de marais; ces propriétés lui servent maintenant surtout de stations d'essai et d'établissement d'exercice pour les fonctionnaires et les élèves. La Société possède huit propriétés dans les landes, d'une superficie totale de 4500 Tinder Land (2500 hectares); et c'est surtout à l'aide des

essais de plantage qui y ont été faits que l'on a réussi à pouvoir juger avec clarté sur la question de plantage, si importante pour l'intérieur du Jutland.

Quant à *l'irrigation*, la Société s'est presque uniquement occupée de la construction des canaux d'irrigation, parce que ces travaux exigent des connaissances spéciales, et parce que les habitants des landes savent en général comment ils doivent utiliser l'eau dès qu'ils l'ont dans leurs champs ; d'ailleurs la question de l'emploi le plus profitable de l'eau pourra toujours être soulevée plus tard, lorsque les canaux d'irrigation seront achevés et que les habitants auront fini d'en payer les frais.

La Société des Landes a dirigé la construction de 145 canaux d'irrigation qui ont un débit total de 2200 pieds cubes (66 000 litres) d'eau par seconde. La plupart des canaux ont une longueur de 2 à 8 kilomètres, et leur débit varie entre 300 et 800 litres d'eau par seconde; quelques canaux ont une longueur de 8 à 24 kilomètres avec un débit de 900 à 1000 litres par seconde. Un *arrosage complet* réclame pour toute la période d'irrigation par Fonde-Land un débit d'environ un cinquième de pied cube d'eau par seconde (11 litres par hectare et par seconde), mais les prairies obtiennent 4 à 6 fois ce volume d'eau, lorsqu'on les arrose en alternant avec l'eau. Une grande quantité de l'eau des canaux n'est employée cependant qu'à l'*humectation* du terrain, ce qui n'exige que le quart de la quantité d'eau citée; on emploie de l'engrais pour les prairies de cette catégorie et l'on en tire en général quelques récoltes pendant deux ou trois ans en les labourant d'abord. La superficie totale du terrain irrigable que la Société des Landes a transformé de la sorte s'élève à environ 15 000 Fdr. Land (9000 hectares), qui ont gagné par ce procédé une plus-value de 6 millions de kroner (8 millions de francs).

L'eau des petits cours d'eau est en général très maigre; mais elle peut toutefois servir; le rendement des prairies par Fonde-Land n'est cependant que de 2000 livres de foin (1800 kilogrammes par hectare). L'eau des grands cours d'eau est essentiellement meilleure, mais ce n'est nullement ce que l'on appelle de l'eau grasse, comme celle des bonnes prairies. Le rendement par Fonde-Land de ces prairies est d'environ 4000 livres de foin (environ 3600 kilogrammes par hectare). On n'y fait qu'une coupe, et au lieu de regain, on y fait paître le bétail pendant l'automne.

La Société rédige les projets de construction de ces canaux d'irrigation et les traités d'arrosage, et les soumet aux habitants; elle surveille l'exécution des travaux, le tout sans aucune dépense pour les habitants. Mais ceux-ci payent tous les frais de construction, à moins que la Société ne leur procure une subvention, ce qui n'a lieu que dans une assez petite étendue, la somme totale dépensée en subventions ne s'élevant qu'à environ 30 000 francs. La dépense totale des canaux d'irrigation a été de 300 à à 1000 kroner par pied cube d'eau (de 13 à 14 francs par litre d'eau et par seconde). Chaque canal a son administration locale, élue par les inté-

ressés de l'irrigation en question; ces derniers remboursent à l'administration les frais d'entretien, qui sont de un quart à un demi-franc par an, par litre d'eau et par seconde. Un volume d'eau déterminé est mis à la disposition de chaque intéressé pendant toute la période d'arrosage, du 1er avril jusqu'au 1er décembre, et il doit le recevoir, de sorte qu'il n'y a pas d'alternance dans l'emploi de l'eau parmi les intéressés.

A certaines époques de l'année, les canaux sont vidés et curés à la profondeur des piquets placés au niveau du plafond. L'eau des canaux est distribuée aux associations des intéressés au moyen de buses en bois dont la manœuvre est soumise à un contrôle minutieux appuyé par des dispositions sévères fixées par la loi.

Les canaux ont été construits à des prix aussi modérés que possible. Le terrain où ils ont été creusés consiste en général en sable, quelquefois en sol marécageux. La pente des canaux a été calculée de manière à donner une vitesse d'un pied un quart par seconde (environ 0,4 mètre par seconde). Les talus intérieurs des canaux ont 1 mètre et demi de base sur 1 mètre de hauteur. Les digues ont une épaisseur au sommet suffisante pour servir de voie pour les voitures; cette épaisseur atteint 3 ou 4 mètres le long des grands canaux. Les aqueducs sous les canaux sont généralement construits en béton ou bien à l'aide de tuyaux en terre cuite émaillés. Les ponts qui traversent le canal sont en bois.

Après que la Société a travaillé de la sorte pendant vingt-trois ans, la plus grande partie des eaux des landes est interceptée par des canaux, au moins partout où cela a pu se faire sans trop de dépenses. Ce qui reste à faire maintenant, si l'on excepte un cours d'eau assez considérable, c'est d'améliorer quelques anciens établissements mal construits; mais, en outre, la Société a commencé à s'occuper de l'irrigation en détail.

A cet effet, elle a établi des prairies sur une surface de 100 hectares dans une de ses propriétes, avec l'intention d'y faire des expériences d'irrigation; de même elle a distribué des brochures sur les meilleures méthodes d'irrigation. Mais cette partie de l'œuvre de la Société n'a pas encore obtenu une grande importance.

Nous conclurons ce petit aperçu en faisant observer que la « Société danoise des Landes » n'est guère une entreprise par actions tendant à donner un dividende à ses membres. Les 4000 membres à peu près, parmi lesquels se trouvent beaucoup d'institutions publiques, donnent leur cotisation dans un but parfaitement philanthropique, et ce sont les contributions de ces membres et les subventions considérables de l'État qui ont fait naître dans les Landes depuis 1866, c'est-à-dire en vingt-trois ans, une vie nouvelle, inconnue jusqu'alors, due en partie aussi à la construction de bonnes routes et de chemins de fer. Il y avait en 1866 en tout 140 milles danois carrés de landes, il en reste maintenant seulement 90 milles carrés, 40 milles carrés à peu près étant transformés en prairies et champs et 10 milles carrés en plantations.

SÉANCES DE LA 2e SECTION

PREMIÈRE SÉANCE

Lundi 22 juillet.

La séance est ouverte à 2 heures du soir, sous la présidence de M. de Raeve.

M. le Président donne la parole à M. Jacquet, pour développer les conclusions de son rapport sur l'amélioration des rivières navigables à fond mobile (voir ce Rapport, page 159).

M. Jacquet, appelé à donner des explications sur le rapport qu'il a rédigé, veut se borner à appeler l'attention sur quelques points spéciaux. La méthode qu'il a employée pour l'amélioration du Rhône lui semble applicable d'une manière générale à l'amélioration de toutes les rivières à fond mobile. C'est la nécessité d'agir sur le fond aussi bien que sur les rives.

On a fait des digues suffisamment élevées pour agir sur le fond, mais la rivière n'a pas un état permanent. Les variations de débit font qu'à chaque instant on a une rivière différente. La forme du fond varie donc à chaque état des eaux.

La rivière est composée d'une série de mouilles profondes, séparées par des hauts fonds. Ce sont des biefs séparés par des déversoirs. La conséquence dans le Rhône était celle-ci : que dans les mouilles profondes, la section était relativement très grande, la vitesse faible et la pente presque annulée.

Le Rhône présente des pentes fréquentes de 50 centimètres par kilomètre, et qui atteignent même 80 et 90 centimètres. Il y a des abaissements énormes de la pente, car celle-ci se réduit en certains points à 20 centimètres. Sur 80 centimètres de pente, on en perd donc 60. Tout ce que l'on perd de pente dans les mouilles est définitivement perdu. Partout où les ingénieurs attaquaient un mauvais passage avec ce système, ils obtenaient des améliorations immédiates, mais au bout de quelques années l'état général du fleuve était peut-être moins bon qu'auparavant, de sorte que

leurs travaux finissaient par être mal compris sur le Rhône. On ne demandait que des dragages, et au commencement de sa gestion d'ingénieur, l'orateur a eu à lutter contre ces tendances, soit de la compagnie de navigation, soit de la Chambre de commerce.

Aujourd'hui les dragues sont très rarement employées. Améliorer une rivière à coups de dragages n'est pas une amélioration. Au cours d'une mission en Allemagne, M. Jacquet a pu étudier l'application heureuse d'une méthode ingénieuse qui consiste essentiellement à fixer le fond des rivières à fond mobile; il a vu des barrages formant pour ainsi dire des gabarits de la forme que devait avoir le fond, et il en a tiré des enseignements pour la navigation du Rhône.

L'irrégularité des fonds entraîne nécessairement l'irrégularité des surfaces. Il s'est alors attaché à faire disparaître l'irrégularité des fonds en essayant de barrer les mouilles par des barrages successifs à des profondeurs suffisantes pour ne pas créer des écueils. Au début, ce système n'était pas bien accueilli. En voyant mettre des pierres dans le Rhône, un marinier disait : « Cette fois-ci c'est fini, on a trouvé le bon moyen pour que nous ne puissions plus naviguer. »

Lorsque ce marinier a vu que le bateau n'était plus jeté à la rive, il a dit : « Mon bateau refuse même d'y aller à présent. » En repoussant les grandes profondeurs au large, on a repoussé en même temps les grands courants. Cela avait une importance majeure pour les inflexions, car la grande difficulté pour passer d'une rive à l'autre, c'est l'inflexion.

Un spirituel contradicteur prétendait qu'on aurait même dû paver le fond. L'amélioration eut été trop onéreuse; elle a été obtenue en le pavant de distance en distance. On est arrivé à mettre le fond de la rivière au point, et aujourd'hui on peut, sans crainte d'enfouissement, poser une chaîne dans le lit du Rhône.

Quant à la durée de ces ouvrages, il suffit de dire que les ouvrages les moins élevés sont les moins attaqués.

M. Jacquet présente au Congrès quelques profils dressés par l'ingénieur en chef qui l'a remplacé dans le service de la navigation du Rhône, M. Girardon. Ce qu'on appelle l'étiage, c'est l'étiage aux plus basses eaux connues.

En 1882, on avait dressé un état pour bien marquer les seuils de fond. Bien qu'on ne cherchât à obtenir qu'un tirant d'eau de $1^{m},60$, M. Jacquet avait réservé une hauteur de 4 mètres pour se mettre à l'abri de toutes les mauvaises chances.

L'orateur fait remarquer, en terminant, qu'en Allemagne on ne fait pas de digues longitudinales. Avec les courants du Rhône, si on avait eu des épis comme les Allemands, on aurait créé un écueil à chaque épi. De sorte que le système qu'il a adopté comprend le maintien de l'ancien système de digues longitudinales avec des rattachements placés en avant et en arrière.

M. Mocquery demande à poser la question suivante : A-t-on pu, des très remarquables résultats obtenus sur le Rhône par Monsieur l'inspecteur général Jacquet et des travaux analogues exécutés avec succès sur les grands fleuves de l'Allemagne, dégager quelques principes généraux qui permettraient, toutes les circonstances du régime d'un fleuve étant supposées connues, de se rendre compte, au moins approximativement à priori, du tirant d'eau maximum que l'on est en droit d'espérer pouvoir obtenir à l'aide de régularisation des berges et des fonds du lit de ce fleuve?

M. Jacquet répond que cette question est d'une extrême importance. Le Rhône a un très grand débit, mais on n'obtiendrait pas facilement partout le tirant d'eau qu'on a pu réaliser sur ce fleuve. Il faut se proposer un tirant d'eau tel qu'avec le resserrement nécessaire pour avoir aux basses eaux ce tirant d'eau, il n'y ait pas nécessité d'avoir un resserrement trop grand, ni des digues trop élevées.

Sur l'Elbe, les Allemands se contentent d'un tirant d'eau de 80 centimètres, ce qui ne les empêche pas d'avoir une navigation magnifique, seulement ils chargent moins aux basses eaux. Les mariniers du Rhône disaient aux ingénieurs : « Si vous nous donnez 1 mètre, nous serons bien contents. » La question de M. Mocquery est très intéressante, mais elle ne comporte pas de solution générale. Il faut prendre chaque rivière à part.

La dépense des travaux du Rhône a été évaluée à 45 millions, sur lesquels 42 sont dépensés pour une longueur de 320 kilomètres. En ce qui concerne l'exploitation et le prix que l'on peut espérer obtenir sur le Rhône, la question est extrêmement délicate; on trouve en effet sur le Rhône des bateaux qui ne présentent pas le type le plus parfait. Néanmoins, aujourd'hui la compagnie générale de navigation donne d'excellents dividendes alors qu'autrefois elle n'en donnait pas du tout. L'année dernière, pendant la crise des transports, la compagnie refusait des marchandises, mais elle n'a pas un matériel suffisant. Le touage sur chaîne noyée va probablement être adopté. Les autres systèmes disparaîtront alors. Les bateaux du Rhône remontent avec une vitesse moyenne de 7 kilomètres à l'heure. Le recul est de 66 pour 100. Sur la Seine et sur l'Elbe il est de 25 pour 100. Par conséquent sur le Rhône, on a un grand intérêt à prendre appui sur un point fixe.

M. Mocquert demande s'il n'y a pas une autre cause nuisible au trafic : l'impasse que fait le Rhône, qui n'aboutit à rien.

M. Jacquet proteste contre cette opinion et rappelle que la compagnie de navigation fait ses transports jusqu'à Marseille avec un transbordement il est vrai, mais il faudra toujours transborder sur le Rhône. Le Rhône sera de moins en moins fermé. La compagnie vient de faire construire un nouveau bateau qu'elle appelle *la Foudre* et qui consomme 28 tonnes de charbon au lieu de 50.

M. Mocquery rappelle que sur le canal de Bourgogne, il y avait 10 à 15 000 tonnes de transit, il y a sept ans, et cette année il y en a 120 000

environ. Le nouveau bateau n'a plus cette forme de caisse si nuisible à la traction. En modifiant encore le bateau, on pourrait peut-être ne lui donner que 200 tonnes au lieu de 300.

M. Jacquet fait remarquer qu'on ne tient pas compte ainsi de la différence des tirants d'eau et qu'en sacrifiant 100 tonnes on s'impose une perte qui surpasse de beaucoup l'économie du transbordement.

Avec les porteurs actuels, le prix du fret est variable suivant les marchandises. La Compagnie de navigation prend toujours un peu au-dessous du tarif du chemin de fer. L'orateur ne sait pas ce que cela coûte à la Compagnie de navigation, mais il sait qu'elle est victime de son faible matériel. Avec le double de bateaux, M. Jacquet est convaincu qu'elle pourrait abaisser ses tarifs et il suppose que ses transports doivent lui coûter environ 2 centimes par tonne kilométrique.

Il y a à peu près un tiers du trafic à la remonte contre deux tiers à la descente. La remonte ne présente presque pas de danger, la descente en présente davantage et elle est plus coûteuse. La Compagnie a besoin d'un plus grand personnel à la descente qu'à la remonte, mais elle brûle moins de charbon. Elle consomme 11 tonnes à la descente et 30 tonnes à la remonte.

Quant à la canalisation du Rhône à laquelle un membre du Congrès a fait allusion, elle eût été facile, mais la question a été résolue contrairement à la canalisation pour les raisons suivantes : les bonnes places étaient prises par le chemin de fer sur les deux rives. Le chemin de fer coûtait environ 500 000 francs par kilomètre pour une plate-forme de 8 mètres. Le canal aurait coûté 700 ou 800 000 francs. En outre la navigation du Rhône en rivière libre se fait rapidement, il ne fallait pas abandonner cet avantage. Quant à canaliser seulement les mauvaises parties, il n'y fallait pas songer, on aurait rencontré les plus grandes difficultés ; à cause de la pente énorme, il aurait fallu des écluses très rapprochées.

M. Jacquelin demande alors la parole et prend la défense du système des canaux latéraux qu'il considère, d'après sa propre expérience, comme susceptible de donner d'une façon générale et continue de meilleurs résultats que celui de l'amélioration et de la canalisation des rivières.

On ne saurait, dit l'orateur, régulariser, c'est-à-dire maîtriser un cours d'eau. Il est impossible de calculer l'importance des crues, des inondations, autrement que d'après les probabilités ; ces faits sont souvent faux, parce que les accrues, les empiètements des riverains ont rétréci depuis quelques siècles les lits des cours d'eau dans des proportions extraordinaires.

Il n'y a pas encore jusqu'ici eu de vraie régularisation de cours d'eau, mais bien amélioration, ce qui est déjà beaucoup ; c'est ce qu'on peut appeler un essai de perfectionnement, car on a réussi à augmenter, à relever le tirant d'eau.

M. Jacquelin cite alors un exemple à l'appui de son dire :

L'un des ponts de Paris, il y a quelques années avait besoin de réparations.

L'administration voulant, à juste titre, pendant la durée de ces travaux, donner satisfaction dans la mesure du possible et à l'industrie si parisienne des bateaux mouches, et à la batellerie marchande, l'orateur eut l'honneur d'être convoqué pour exprimer son avis sur le choix des arches de ce pont à laisser à la disposition toute spéciale, soit des bateaux mouches soit de la batellerie marchande.

M. Jacquelin répondit que pour les bateaux mouches ce choix était facile, ces bateaux étaient à vapeur et légèrement porteurs, mais que quant aux bateaux marchands, il était impossible de faire choix du passage à leur imposer.

Cette opinion était basée sur ce que telle voie de passage, avec la hauteur d'eau du moment, pouvait être excellente, tandis qu'avec de grandes eaux elle pouvait devenir dangereuse et impraticable; à l'appui de ce dire l'orateur invoquait ce principe qu'en bonne navigation fluviale, il est élémentaire de laisser descendre le bateau là où l'eau le mène, l'expérience intervenant seulement pour faire éviter une pile de pont ou un obstacle au bateau; il fut facile de démontrer que suivant les différences de hauteur des eaux le courant passe dans telle arche ou dans telle autre, que sur dix bateaux manœuvrant à l'encontre de cette règle générale, huit au moins sombrent.

Néanmoins des arches spéciales furent imposées à la batellerie marchande.

Peu de temps après, de grandes eaux se produisirent, les mariniers et les pilotes refusèrent absolument de passer par les voies qui avaient été imposées : il y avait danger pour eux.

Par des voies qui étaient interdites on fit passer des centaines de bateaux sans un seul sinistre, mais avec un nombre considérable de procès-verbeaux dressés pour contraventions aux ordonnances de police.

Et pourtant au moyen de barrages, en amont et en aval, on avait essayé de régulariser la Seine mais elle est restée maîtresse de ses caprices.

M. Jacquelin estime qu'il faut renoncer au mode employé jusqu'ici et bien nettement accepter ce principe, que les cours d'eau ne doivent servir qu'à l'alimentation d'eau des villes, quand leurs eaux sont potables et à l'alimentation d'eau des canaux placés parallèlement, et encore à l'installation d'industries utilisant l'eau comme force motrice.

M. Mocquery estime que la batellerie devrait pouvoir arriver à jour fixe comme le chemin de fer ; c'est la grande affaire. S'il faut dix jours pour aller de Paris à Lyon, il faudrait qu'un commerçant pût dire à son correspondant : vous aurez votre marchandise dans 10 jours, Une fois cela obtenu, il y aura encore la concurrence de vitesse pour laquelle il faudrait

modifier les formes des bateaux. C'est aux compagnies de navigation à chercher par des expériences qui ne sont pas bien difficiles à faire la meilleure forme à donner.

M. Jacquet résume la discussion et s'attache à démontrer que le mode à employer dans chaque cas particulier pour l'amélioration d'une rivière est une question d'espèce et que notamment en ce qui concerne le Rhône, le système adopté était à la fois le plus économique et le plus sûr.

La séance est levée à 3 h. 35.

DEUXIÈME SÉANCE

Mardi 23 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures du matin sous la présidence de M. de Raeve. M. Boemches fait une communication sur la régularisation des eaux fluviales en Autriche-Hongrie au point de vue de la navigation.

Communication de M. Bœmches.

Le Congrès réunissant les représentants distingués de toutes les nations civilisées du globe, il serait sans doute intéressant de connaître la situation générale des cours d'eau naturels et artificiels servant à la navigation dans les divers pays représentés au Congrès.

Partant de ce point de vue, je demande la permission de porter à la connaissance de la section de navigation une notice sur l'état actuel des cours d'eau qui sillonnent les provinces de l'Empire austro-hongrois.

Son Altesse feu l'Archiduc Rodolphe, le regretté prince héritier, a appelé, dans son discours prononcé à l'occasion de l'ouverture solennelle du deuxième congrès international de navigation intérieure à Vienne, l'Autriche-Hongrie un pays coupé par un vaste réseau hydrographique.

En effet, un coup d'œil jeté sur la carte hydrographique de la monarchie[1] fait voir qu'un nombre considérable de cours d'eau traverse les diverses provinces de l'Empire suivant toutes les directions de la boussole, après avoir pris leurs sources dans la chaîne des Alpes qui forment les faîtes séparatifs entre la mer Noire et les mers du Nord, de l'Est et de l'Adriatique.

Le bassin fluvial de la mer Noire est le plus important et embrasse les trois quarts de la superficie entière du pays. Il est traversé dans la direction du Nord-Ouest au Sud par le puissant fleuve du Danube avec ses nombreux affluents et dans le Nord par la rivière de Dnjestr. La mer du Nord reçoit les eaux de l'Elbe et de son affluent la Moldau qui tous deux traversent la Bohême d'un bout à l'autre. Le faîte séparatif entre la mer Noire et la mer de l'Est est situé au nord de l'Empire et dirige vers la der-

1. Voir : « Karte der Stromgebiete der Œsterreichisch-Ungarischen Monarchie bearbeitet von Vincenz von Haardt; Wien, 1883. »

nière les eaux de la Vistule avec ses affluents dont le Sam est le plus abondant. L'Adriatique enfin reçoit les torrents du Tyrol-Sud et de la plaine vénitienne savoir : la Brenta, l'Adige, le Tagliamento et l'Isonzo, de même que les rivières de côte peu importantes de l'Istrie et de la Dalmatie savoir : la Kirka, la Cetina, la Narenta, etc.

Il est évident que les grandes différences qui existent dans les diverses parties de l'Empire sous le rapport de la situation orographique, de l'altitude du niveau, de la formation géologique, de la couverture du sol ainsi que de la température et des eaux atmosphériques exercent un effet différent sur l'état hydrographique, savoir : sur le régime des cours d'eau naturels.

Si on considère le plus vaste de ces bassins fluviaux, celui du Danube, on rencontre tous les degrés d'élévation du terrain, à partir des régions couvertes de neige et de glace jusqu'aux plaines basses de la Hongrie élévées à peine de 100 mètres au-dessus de la mer, toutes les formations géologiques différentes au point de vue de l'âge et de la densité, toutes les sphères d'eaux pluviales de 2000 à moins de 500 millimètres de pluie annuelle, toutes les zones de température depuis les hauts plateaux des Alpes centrales jusqu'aux pays bas de la Theiss ; enfin toutes les sortes de couverture du sol, depuis les forêts les plus abondantes jusqu'aux landes désertes de la Hongrie.

Le bassin du Danube est le plus vaste en Europe, après celui de la Wolga. Il s'étend depuis les hauteurs de la Forêt Noire jusqu'aux landes nautiques, depuis les montagnes de l'Allemagne du Sud et les remparts allongés des Karpathes jusqu'à la plaine basse de l'Italie et atteint les hauteurs désertes du Karst et les montagnes austères de la Herzegovina, de la Cernagova et du Balkan.

Dans l'étendue de cet espace occupant une surface de plus de 900 000 km², on trouve trois bassins orographiques prédominants qui amènent au fleuve principal des rivières nombreuses et abondantes, savoir : les Alpes de l'Est, les Karpathes et les pays montagneux de la Bosnie.

Dans le premier de ces bassins prennent leur source les rivières : Iller, Lech, Isar, Inn, la Traun, l'Enns, celles des Alpes de la Basse-Autriche (Ybbs, Fraisen, etc.) enfin la Leitha, la Raab, la Drave et la partie supérieure de la Save, presque toutes remarquables par une très grande richesse d'eau.

La rivière de la March qui forme la frontière politique entre l'Autriche et la Hongrie se jette près de Theben dans le fleuve principal. Elle amène, quoique ayant un bassin de 30 000 km² et un cours de 380 kilomètres, un cube d'eau inférieur à celui d'autres rivières dans les mêmes conditions. Plus abondantes en eau sont les rivières de la Waaq, Neuka, Graw et Eipel.

La situation du fleuve présente un intérêt spécial entre Budapest et l'embouchure de la Drave. Au-dessous de la capitale hongroise (avant la division du fleuve en deux parties formant l'île de Csepel) le Danube offre

une largeur de 1000 mètres et un tirant d'eau de $7^m,60$ à $11^m,40$ tandis que au-dessus de l'embouchure de la Drave ces mêmes dimensions ne sont que 600 à 800 mètres et $6^m,30$ à $7^m,60$. Le fleuve a par conséquent perdu sur cette longueur une partie notable de son volume d'eau.

Cette perte est rétablie sur la rive droite, où le fleuve reçoit du côté de l'ouest des tributaires descendant des Alpes déjà fort éloignées savoir : la Leitha, la Raab et la Drave. La dernière et la plus importante est alimentée par les sources des Alpes de la Styrie-Nord et de la Carinthie, de même que par de nombreux affluents. Elle occupe par conséquent un premier rang entre les affluents du Danube.

Plus important encore est celui de la Theiss. Son bassin couvre une superficie de 156 200 km² et son lit a une longueur de 1450 km ; avec un nombre considérable de rivières secondaires qui sont en partie de véritables fleuves, tels que la Kôrôs et la Maras.

Le dernier affluent du fleuve sur le territoire austro-hongrois est la Save dont le domaine présente un intérêt spécial car il établit la transition entre les eaux secondaires alpines du Danube et celles de la presqu'île du Balkan.

En résumé, le fleuve du Danube compte sur le territoire Austro-Hongrois treize affluents d'un débit notable dont les rivières de l'Inn près Passau, de la Drave près Esseq, de la Theiss près Neusatz et de la Save près Belgrade sont les plus importantes.

Le Danube entre à Passau sur le territoire de l'Autriche-Hongrie, présentant une largeur de 220 mètres avec un débit de 400 mètres cubes, pour aller après un parcours de 2200 kilomètres se jeter dans la mer Noire. La pente totale entre Passau et la mer est d'environ 290 mètres, soit en moyenne $0^m,13$ par kilomètre. Mais cette pente n'est pas uniforme ; le cours d'eau traverse en effet un certain nombre de défilés formant déversoirs, dans lesquels la pente est rapide et la profondeur très irrégulière ; dans l'intervalle règnent de véritables biefs à faible pente.

Les défilés les plus redoutés sont : celui du Struden à 50 kilomètres en aval de Linz et celui des Portes-de-fer, près de Moldova. Le premier resserré entre des parois irrégulières de rocher où le fleuve se précipite en formant une série de cascades séparées par des bassins dans lesquels les eaux tourbillonnent avec fureur. La vitesse du courant atteint en certains points trois mètres à l'étiage, elle est beaucoup plus grande pendant les hautes eaux ; le tirant d'eau dans le chenal descend à $1^m,30$ et quelquefois à moins de 1 mètre. Dans quelques parties le lit est resserré jusqu'à n'occuper qu'une largeur de moins de 80 mètres de manière que le passage des bateaux ne peut se faire qu'à simple voie.

Le fameux défilé appelé les Portes-de-Fer consiste en une profonde coupure d'une longueur de 110 kilomètres. On applique cependant cette dénomination au dernier des seuils, celui qui se trouve immédiatement à l'amont de Furn-Severin et qui est particulièrement redouté des navigateurs.

En basses eaux le débit du fleuve est d'environ 1700 mètres cubes et la

pente moyenne de 22 centimètres par kilomètre. Mais cette pente est fort inégalement répartie, se concentrant sur un petit nombre de seuils, formant barrages sur lesquels l'eau se déverse en véritables cascades. La largeur du lit est extrêmement variable, étant dans quelques biefs de 1800 mètres et descendant sur certains points au-dessous de 160 mètres.

En basses eaux la navigation est absolument impossible et le service ne peut se faire que par transbordement en empruntant le chemin de fer ou la voie de terre. En eaux plus hautes, on peut franchir le défilé au moyen de bateaux à vapeur légers, spécialement construits pour cet usage. Ce n'est que lorsque les eaux sont déjà fortes que les grands bateaux à vapeur peuvent franchir les passes, ce qui se fait pendant 60 jours par année moyenne.

Les biefs à faible pente se trouvent dans la partie du Danube qui s'étend de Vienne à Moldova sur 900 kilomètres de longueur. Ici la pente moyenne ne dépasse pas 10 centimètres par kilomètre et le fleuve s'écoule dans une immense plaine plate et le plus souvent marécageuse; il envoie à droite et à gauche des bras secondaires qui s'écartent quelquefois à 50 kilomètres du lit principal. Cette partie du cours du Danube, surtout en aval de Budapest est celle qui présente les meilleures conditions de navigabilité, le tirant d'eau n'y descend guère au-dessous de 2 mètres, sauf en quelques points isolés. La vitesse du courant ne dépasse pas en général $1^{m},50$ en eaux moyennes et se tient bien au-dessous de cette limite sur presque tout le parcours. Le lit principal offre à peu près partout une largeur d'au moins 250 mètres, mais qui sur de grandes longueurs dépasse 500 à 1000 mètres.

Après avoir ainsi décrit le régime du fleuve, je ferai connaître les travaux de régularisation dont il a été l'objet.

La partie du fleuve appartenant à l'Autriche s'étend de Passau jusqu'à l'embouchure de la March, qui forme la frontière politique entre les deux pays limitrophes. Sur cette partie on travaille depuis 1850 pour améliorer les conditions de navigabilité. Augmentation du tirant d'eau sur les maigres, fixation du chenal, adoucissement des coudes trop brusques, protection des riverains contre les inondations et les débâcles, voilà quelle est la tâche des ingénieurs chargés des travaux d'exécution. Les procédés employés ne diffèrent pas de ceux qui ont été essayés sur d'autres fleuves, savoir : digues longitudinales, épis découverts ou noyés, défenses de rives par des fascinages, des enrochements et des perrés, rectifications, resserrements, fermeture de faux bras, dragages de hauts fonds, etc...

Les résultats obtenus sont à peu près les mêmes que dans bien des cas analogues. Ils sont encore incomplets et les mariniers ne trouvent pas que les travaux aient amélioré notablement l'état antérieur. Cependant, on ne peut encore juger de la valeur véritable des résultats, car les travaux ne sont pas encore finis sur toute la longueur du lit. Ainsi les ingénieurs ne perdent pas l'espoir d'obtenir une amélioration complète et l'État continue

les travaux qui exigeront encore des sommes considérables et un laps de temps de dix à quinze ans jusqu'à leur achèvement complet. Le but poursuivi est la fixation d'un chenal avec un tirant d'eau de trois mètres au-dessous de l'étiage et la protection des pays riverains contre les inondations par les glaces et les débâcles.

Le dernier but a été atteint surtout pour la banlieue de Vienne et l'immense plaine basse, située sur la rive gauche du fleuve et connue sous le nom de *Marchfeld*, qui occupe une superficie de plus de 500 kilomètres carrés. Les grands travaux hydrauliques exécutés dans ce but de 1869 à 1875 offrent un intérêt tout particulier, en raison de leur importance, des dispositifs donnés aux ouvrages et enfin des résultats considérables qu'ils ont réalisés. Ils comportent deux parties, savoir : la régularisation du lit principal et l'aménagement du bras traversant la ville et appelé le canal du Danube (Donau-canal)[1].

Grâce à ces travaux, les inondations, les glaces et les débâcles produites par l'irrégularité et la mobilité du lit principal ont été considérablemen réduites. D'après l'expérience acquise pendant quatorze ans, il n'y a plus d'inondation proprement dite.

Mais les intérêts de la navigation ne sont pas encore complètement sauvegardés, en ce sens que le port fluvial installé le long du nouveau lit attend son aménagement complet, qu'il manque une gare d'hivernage et que le tirant d'eau réclamé par les bateaux circulants n'existe pas dans toute l'étendue du chenal. Il s'agit d'un tirant d'eau de $2^{m},50$ à 3 mètres qu'on se propose d'établir sur toute l'étendue de la partie autrichienne du fleuve. Les dérochements exécutés de 1844 à 1866 sont continués encore cette année d'après les dispositions d'un projet du Gouvernement[2]. Ce projet, qui exigera une dépense de près de dix millions de francs, consiste dans l'élargissement et dans l'approfondissement du lit actuel dans les proportions exigées par les besoins de la navigation. On commencera également cette année l'établissement d'un port fluvial à Linz, capitale de la Haute-Autriche.

En même temps que ces travaux spéciaux, on poursuit les travaux courants avec toute l'activité possible dans les limites du budget.

La partie du fleuve qui appartient au domaine hongrois présente sur son parcours de 900 kilomètres de longueur deux défilés, l'un entre Theben (embouchure de la March) et Pressbourg (10 kilom. de long.), l'autre entre Graw et Waitzen (40 kilom. de long). Sur le reste de 850 kilomètres le fleuve a un caractère analogue à celui indiqué plus haut. Dans cette partie du fleuve, on a entrepris des travaux assez importants de régularisation

1. Voir : « Régularisation du Danube à Vienne, 1878. — Mémoire descriptif des travaux exécutés et des moyens d'exécution employés. »

2. Voir : « Protokoll der VIII ordentlichen general Versammlung des Donau-Vereines am 12 april 1888, enthaltend den Vortrag : Das Regierungs project für die Regulirung des Struden bei Grein, vom Herrn K. K. Oberbaurath Rössler. »

qui sont en cours d'exécution. Ces travaux ont pour but non pas une transformation profonde, mais de simples améliorations à un état de choses fort acceptable ; ils ont produit en général des résultats satisfaisants, sauf quelques parties malades, entre autres, celle comprise entre Pressburg et Gônyo.

Une difficulté très grande a été la régularisation du Danube dans la traversée et aux abords de la capitale de la Hongrie. Le fleuve y est exposé en hiver à des embâcles qui amènent des inondations terribles, de sorte que Budapest a été plus d'une fois ravagée à la suite d'accidents de cette nature. On est arrivé à protéger la ville contre de tels accidents en rectifiant le lit du fleuve et en établissant de solides défenses de rives, qui assurent la conservation des tracés.

En outre de ces travaux de rectification et d'endiguement, on a construit des quais magnifiques et un vaste port de transbordement. Ce port a été pourvu d'immenses magasins et d'un élévateur servant au commerce de céréales. Le quai du port et le sol des magasins sont sillonnés de voies de fer, se raccordant aux réseaux de grandes lignes, de manière à réduire au minimum les frais de transbordement. Ainsi la ville de Budapest jouit du grand avantage de posséder aujourd'hui le port fluvial le mieux installé dans toute l'Autriche-Hongrie.

Reste encore une grande tâche à remplir : la régularisation des « Portes de fer ». Les travaux qu'elle exige, attendus depuis des dizaines d'années vont être commencés dans le courant du mois de septembre et seront poursuivis avec toute l'activité permise par les circonstances onéreuses de la localité. La dépense est évaluée à 22 millions et demi de francs et l'époque de l'achèvement du projet est fixé à la fin de l'année 1896.

On voit donc que la partie du Danube comprise entre Passau et la March (frontière de la Hongrie) exige la régularisation du défilé de Stunden, l'établissement d'un port fluvial à Linz, le complètement des installations maritimes à Vienne et enfin l'exécution des travaux restants sur tout le parcours du fleuve, pour obtenir le tirant d'eau de 3 mètres réclamé par la navigation moderne. De même la partie du fleuve, sur le territoire de la Hongrie, exige encore des travaux continuels, pour obtenir de bonnes conditions de navigabilité sur certaines parties du cours d'eau; sans compter les obstacles qu'opposent à la navigation les cataractes des Portes de Fer. Ainsi il y a des travaux à faire pour des années non seulement pour la construction de nouveaux ouvrages, mais aussi pour l'entretien des anciens[1]. Dans cet état de choses, les parlements des deux pays n'hésitent pas chaque année à voter des sommes en rapport avec l'importance des tra-

1. Pour plus amples renseignements, voir : « Deuxième congrès international de navigation intérieure tenu à Vienne en 1886. — Rapports des délégués du ministre des travaux publics de France sur les travaux du congrès. — Excursion sur le Danube, par J. Hirsch. — Paris, 1888. »

vaux qui restent à exécuter. Ces sommes ont atteint l'année passée pour les travaux de régularisation :

dans la partie de l'Autriche : 3 410 000 fr.
dans celle de la Hongrie : 3 110 000 fr.

(Les travaux des Portes de Fer ne sont pas compris dans la dernière somme, car ils ne doivent être commencés que dans le courant de cette année).

Si l'on tient compte de l'importance du fleuve, ces sommes ne paraîtront peut-être pas en rapport avec les difficultés de la tâche à remplir[1]. Mais malheureusement les ressources financières du pays ne permettent pas de faire de plus amples sacrifices, car il ne faut pas négliger la régularisation des autres fleuves et cours d'eau de l'empire lesquels, la plus grande partie n'étant que flottable, réclament également des sommes assez importantes, si on veut les mettre en état de navigabilité.

Il faut placer en première ligne, la rivière de l'Elbe en Bohême, remarquable surtout par son grand trafic et spécialement par son exportation de charbons (1 787 000 tonnes en 1888). Aussi le gouvernement apporte déjà depuis environ quinze ans un soin particulier aux travaux de correction de la rivière. Augmentation du tirant d'eau dans les limites stipulées par les traités des états riverains, resserrement des parties trop larges du lit, fixation du chenal, voilà en quoi consiste en général la tâche des ingénieurs, couronnée du reste d'un plein succès. En outre de ces travaux de régularisation proprement dits, on a eu soin d'établir des ports fluviaux bien aménagés et de les raccorder aux stations des chemins de fer qui circulent le long des deux rives du fleuve. La rivière charriant très souvent, on se préoccupe beaucoup de protéger les bateaux contre les glaces et les débâcles par l'établissement de pertuis fermés servant de refuges aux bateaux pendant la saison des glaces. On compte sur la courte distance de 52 kilomètres (de la frontière de Saxe jusqu'à Melnik, où se trouve l'embouchure de la Moldau) un nombre assez grand de gares d'hivernage et six stations maritimes (Laube, Tetschen, Rosawitz, Schonpriesen, Aussig et Lobovitz). Ces stations se trouvent dans un état d'agrandissement continuel grâce à l'augmentation du trafic qui se produit d'une année à l'autre. (Ce trafic a augmenté de 1887 à 1888 d'un demi-million de tonnes.) On construit à Aussig un deuxième port fluvial exigeant une dépense de 2 500 000 francs. Les dépenses annuelles pour la régularisation du lit de la rivière peuvent être évaluées à un demi-million de francs.

L'augmentation continuelle sur trafic de l'Elbe exerce une influence favorable sur son affluent la Moldau formant pour ainsi dire la continuation de l'Elbe jusqu'à la capitale de la Bohême. Le lit de la rivière sur ce parcours de 52 kilomètres est assez satisfaisant, mais il demande à Prague même des rectifications fondamentales, pour répondre aux besoins de la

1. Voir : « Die Regulirungs der Donau von Louis Itzeles. — Wien, 1880. »

navigation et du commerce. Aussi, est-on en train de régulariser la rivière dans la traversée de la ville et de construire à ses abords un vaste port fluvial, réunissant la voie d'eau au réseau des voies ferrées qui se croisent dans la banlieue de Prague[1]. L'Elbe et le Danube sont les deux fleuves les mieux régularisés en Autriche-Hongrie[2]. Cela tient non seulement à l'attention bien justifiée que les gouvernements prêtent à ces deux fleuves importants par leur trafic et par leur situation internationale, mais aussi à l'active énergie des deux sociétés créées *ad hoc*, la Société de l'Elbe et celle du Danube (Elbe-Verein et Donau-Verein). Ces sociétés existent depuis plus de dix ans et ont pour but de protéger et d'avancer les intérêts du commerce et de la navigation sur l'étendue des dits fleuves. Les moyens pour obtenir le but indiqué sont : convocation des assemblées régulières pour discuter les questions urgentes, participation aux enquêtes du gouvernement et aux congrès internationaux de navigation[3], rapports et demandes en requête adressés aux corporations et autorités intéressées, publications de documents importants et de questions du jour, enfin grandes excursions d'étude pour visiter des travaux et constructions relatifs à la navigation. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les comptes rendus annuels des deux sociétés pour se convaincre de la manière consciencieuse avec laquelle le but proposé est poursuivi. La Société du Danube a créé il y a un an un journal spécial « Die Wasserstrasse » (la voie navigable) pour joindre aux moyens d'action employés jusqu'à présent celui plus efficace encore d'une publicité périodique. Je dépose sur le bureau un exemplaire de ce journal.

J'arrive maintenant aux fleuves d'ordre secondaire dans les provinces de la Monarchie. Les soins prêtés à leur régularisation se portent en premier lieu sur les travaux de protection contre les inondations et les débâcles de glace en hiver et en deuxième lieu seulement sur les travaux servant à l'amélioration de la navigabilité.

Les rivières de l'Inn et de l'Enns, dans la Haute-Autriche, de l'Oder et de la March en Silésie et en Moravie, de la Save dans la Styrie, de la Drave dans la Karinthie et la Croatie, de la Vistule, du Sann, du Dnjestr et de la Wisloka en Galice, de Pruth dans la Bukomina, enfin de la Theiss avec ses nombreux affluents en Hongrie demandent des soins continuels pour leur rectification dans le sens indiqué. Mais les sommes dépensées ne répondent malheureusement pas aux exigences de la navigation. Aussi peut-on dire que dans chacune des deux parties de l'Empire les sommes dépensées pour la totalité des rivières secondaires ne dépassent pas notablement la

1. Voir : « Bericht der technischen Comite den Enquete für die Regulirung und Schiffbarmachung der Moldau im Weichbilde von Prag. — Prag., 1888. »

2. Voir : « II. Internationaler Binnenschiffahrts Congress, Wien, 1886.— Monografien der Donau und der Elbe. — Wien, 1886. »

3. Voir : « Berathungen und Beschlusse des II. internationalen Binnenschiffahrts Congress. Wien, 1886. — Zusammengestellt von Auschusse des Donau-Vereines in Wien. — Wien, 1887. »

somme consacrée aux travaux exécutés sur le seul fleuve du Danube. Il est évident qu'une telle dépense est tout à fait insuffisante pour atteindre le but qu'on se propose.

D'après le budget de l'année passée la totalité des sommes dépensées pour la régularisation des eaux fluviales dans les deux parties de l'Empire n'était que de 13 750 000 francs, dont 7 millions et demi en Autriche et 6 250 000 francs en Hongrie.

L'insuffisance de ces sommes est évidente surtout si l'on considère la longueur des cours d'eau dans les deux pays. En Autriche, par exemple, la longueur totale des cours d'eau est d'après la statistique officielle[1] de 6 596 kilomètres dont 3 881 flottables, soit 59 pour cent, et 2 715 navigables, soit 41 pour cent.

La répartition des voies navigables entre les provinces est la suivante :

Basse et Haute Autriche. . .	491	kilomètres.	Soit 25	p. 100	du total.
Galice.	819	—	30	—	—
Bohême.	354	—	13	—	—
Tyrol et Vorarlberg.	187	—	7	—	—
Styrie	171	—	6	—	—
Autres provinces.	493	—	19	—	—

Voilà ce que je puis dire des rivières régularisées.

Quant aux rivières canalisées et aux canaux faisant disparaître les lacunes qui séparent les fleuves, ceux-ci ne permettant pas aux bateaux de canaux de passer en toute saison d'un canal à l'autre, on n'en trouve pas en Autriche.

Aucune rivière n'est canalisée et il n'y avait qu'un seul canal dans la Basse-Autriche, le canal de Wiener-Neustadt construit dans la première moitié du siècle dans un intérêt local, et qui n'est plus exploité depuis une vingtaine d'années.

La Hongrie est plus riche en canaux. Elle en possède plusieurs dont la plupart du reste servent uniquement d'exutoires pour l'assainissement des nombreux marais dont le pays est couvert. Quelques-uns sont des canaux de navigation; il convient de citer parmi eux le canal de la Bega et le canal Français, construits l'un et l'autre au siècle dernier. Le canal latéral de la Bega, affluent de la Theiss, réunit à ce cours d'eau l'importante ville de Temesvar. Il a une longueur de 70 kilomètres. Le canal Français coupe le promontoire entre la Theiss et le Danube, en raccourcissant de près de 200 kilomètres le parcours que les bateaux descendant la Theiss avaient à effectuer pour remonter le Danube dans la direction de Budapest. Il a 100 kilomètres de longueur et un embranchement de 70 kilomètres le met en communication avec le Danube à Neusatz, en face de Peterwardein.

Telle est la situation actuelle des voies fluviales en Autriche-Hongrie. En raison de cet état peu satisfaisant le trafic est également assez faible.

1. Voir : « Œsterreichs Flussschiffahrt in den Jahren, 1883-1887, von J. Pizzala. »

En Autriche, le trafic de l'année passée a atteint le chiffre de 2 634 700 tonnes qui se répartit comme suit entre les principales rivières :

Le Danube.	250 000	tonnes.
L'Elbe et la Moldau.	2 276 000	—
La Vistule et ses affluents.	107 000	—
Le Dnjestr et ses affluents	1 000	—

On voit bien par là que le trafic n'est pas nettement en rapport avec la longueur des cours d'eau. Il ne permet pas même une comparaison avec le trafic des autres pays plus avancés en fait de navigation et disposant d'une égale longueur de voies navigables.

C'est au manque de communications par eau qu'il convient d'attribuer cette situation fâcheuse.

C'est une vérité aujourd'hui reconnue par les esprits éclairés du pays qui déclarent que la construction des voies navigables est devenue une *nécessité urgente*, pour permettre de soutenir la lutte contre les conditions économiques des marchés du continent et surtout contre la concurrence de l'Amérique vendant ses blés sur les marchés de l'Europe, grâce au bas prix qu'a atteint le fret de mer.

Aussi l'opinion publique se préoccupe-t-elle sérieusement des moyens propres à développer la navigation intérieure malheureusement trop longtemps négligée dans l'Empire. Les parlements des deux pays[1], les diètes dans les provinces, les sociétés des ingénieurs et des architectes dans les villes, les chambres de Commerce et de l'Industrie, les sociétés du Danube et de l'Elbe, les comités d'action crées *ad hoc*, etc, se réunissent pour exercer une pression sur les gouvernements et atteindre le but poursuivi. Ce but a deux objets :

1° Régularisation et canalisation des cours d'eau naturels et leur réunion par des canaux artificiels, afin de les utiliser pour le transport des marchandises et surtout des matières premières[2].

2° Établissement d'un plan général embrassant le réseau entier de toutes les lignes de navigation existantes et futures (rivières et canaux) dans l'Empire, pour servir de base à l'exécution méthodique de tout ce qui reste encore à faire.

Il n'est pas douteux que les tentatives des éléments les plus éclairés de la population finiront par réussir, et dans un avenir peu éloigné on n'hésitera pas sans doute à rectifier avec plus d'activité et au prix de plus grandes dépenses nombre de cours d'eau existants auxquels on n'a pas donné jusqu'à présent les soins qu'ils méritent, tels que les rivières de la

1. Voir : « Rapports de la commission composée des ingénieurs étrangers invités à examiner les travaux de régularisation exécutés sur les rivières hongroises. — Budapest, 1879. » — « Bericht des Wasserstrassen Ausschusses über die Herstellung einer Schiffahrtsstrasse zur Verbindung der Donau mit der Elbe. — Wien, 1884. »

2. Voir : « Denkschrifft über den Ansbau der Wasserstrassen in Œsterreich; Wien 1884. » — Eine Schiffahrtsstrasse Donau-Moldau-Elbe von Dr Victor Russ. — Wien, 1884. »

Moldau, de la Drave, de la Save, de la Vistule, du Sann, du Dnjestr, etc. De même on ne tardera pas à mettre la main à l'exécution des projets de canaux à construire dans les deux parties de l'Empire[1], savoir celui qui doit réunir le fleuve du Danube avec l'Oder et avec l'Elbe et ceux de la Hongrie mettant en communication les nombreuses artères fluviales du pays.

Il reste encore beaucoup de choses à faire et il faudra de grands efforts pour atteindre le but poursuivi.

En effet les difficultés d'exécution en Autriche-Hongrie sont bien plus grandes que dans d'autres pays à cause de la différence de la situation topographique.

Les grands fleuves de l'Allemagne, par exemple, qui coulent dans de vastes plaines avec de faibles pentes et un régime régulier se trouvent dans des conditions beaucoup plus favorables.

Mais malgré ces difficultés on se mettra à l'œuvre pour améliorer et perfectionner les voies d'eau, dans l'intérêt du pays même et dans celui des relations internationales.

L'Autriche-Hongrie aura l'ambition de se mettre au rang des nations les plus avancées en fait de navigation intérieure, en premier lieu de la France, le pays d'origine des canaux et des voies d'eau artificielle de grande navigation, de l'Allemagne qui suit l'exemple de la France, de la Belgique, et de la Russie, qui fait de grands efforts pour tirer le meilleur profit de la richesse de ses eaux fluviales.

Pour terminer ma communication j'ajouterai que je n'ai pas eu l'ambition d'apprendre au Congrès quelque chose de nouveau ou d'original mais de lui présenter un compte rendu sommaire de la situation actuelle des cours d'eau en Autriche-Hongrie. J'ai profité en outre de cette réunion du Congrès international pour appeler l'attention sur une question qui présente un certain intérêt pour les capitaux et les ingénieurs étrangers, qui, le cas échéant, seront peut-être disposés à s'intéresser à l'exécution de grands travaux hydrauliques servant au développement de la navigation intérieure dans la monarchie Austro-Hongroise.

M. Jacquet demande, comme ancien membre de la Commission internationale chargée d'étudier l'amélioration du Danube, quel est le procédé auquel on s'est finalement arrêté pour la régularisation des portes de fer. Deux projets étaient en présence : l'un assurait l'amélioration en laissant la rivière en courant libre, en adoucissant les pentes et en faisant sauter les roches ; l'autre consistait à faire dans le lit même du Danube, une très courte dérivation qui se terminait par des écluses ayant une chute totale de 5 mètres.

1. Voir : « West-Ungarn zwischen Donau und Drau, von Ludwig v. Bernuth. — Wien, 1887. »
« Exposé über das in Œsterreich projectirte Schiffahrts-Canalnetz, von Heinrich Hobohm. — Wien, 1887. »
« Der Donau-Save-Canal, von Franz Peyer. — Wien, 1888. »
« Die Canalisirung des Alföld, von Heinrich Hobohm. — Wien und Budapest, 1888. »

M. Bœmches ne peut donner le renseignement demandé que les ingénieurs hongrois fourniront certainement avec le plus grand plaisir.

M. Foulard revenant sur la question traitée par M. Jacquet dans la première séance, appelle l'attention sur l'intérêt qui s'attache à l'étude des modifications qu'il faudrait apporter à la méthode d'amélioration du lit inférieur des fleuves à fond mobile, en vue de l'appliquer à l'amélioration du lit supérieur. Il demande si, sous réserve des modifications qu'entraînerait nécessairement l'étude des différents cas particuliers, on ne pourrait pas donner des indications générales, recommander, par exemple, pour parer aux érosions, les digues longitudinales, mais submersibles, et des digues transversales convenablement espacées, de manière à retarder l'écoulement des eaux.

M. Jacquet croit qu'il est difficile de traiter, *ex abrupto*, une question aussi complexe, bien que son importance mérite d'attirer l'attention.

M. Guerreiro, qui n'a pu assister la veille aux débats de la section, désire présenter quelques considérations sur l'amélioration du Douro, que M. Jacquet considère, lui a-t-on dit, comme peu praticable.

Certainement M. Jacquet n'a pas voulu prononcer un arrêt si défavorable sur les travaux à entreprendre pour l'amélioration de ce fleuve, qui, dans l'opinion de quelques ingénieurs portugais, doivent être exécutés et produire des effets très sensibles pour la navigation.

Quand M. l'inspecteur général Jacquet a visité le Douro, c'était avec la préoccupation d'indiquer des travaux d'amélioration qui fussent en rapport avec la grande masse de minerais de fer qui existe dans la région; mais ces minerais ne peuvent pas être mis en œuvre s'ils sont grevés de dépenses de transport qui rendraient leur prix inacceptable pour le marché.

A ce point de vue, tout le monde sera de l'avis de M. Jacquet, et la *Société*, qui l'a consulté, lui doit être très reconnaissante d'un avis qui a eu le grand avantage de la détourner d'une mauvaise voie; mais de là on ne doit pas conclure que l'amélioration du Douro soit impossible.

C'est l'État qui doit entreprendre ces travaux et les mener à bonne fin dans une série de campagnes ininterrompues et avec des capitaux suffisants. Si 20 millions de francs ne suffisent pas, qu'on en dépense 50, car le trafic qui se fait par la rivière en vaut la peine, malgré la concurrence du chemin de fer qui suit la vallée dans presque toute son étendue. Quoi qu'on dise, les produits agricoles et même les vins fins préfèrent la voie fluviale qui est aujourd'hui d'une exploitation si difficile.

En effet, le Douro a un régime torrentiel et peut être considéré comme une suite de biefs de longueurs très variables, formés au moyen de barrages naturels, où les eaux ont creusé des passes navigables très dangereuses. Les bateaux ont une construction toute spéciale et rappellent ceux de l'Adour. On les dirige avec une longue rame ayant une extrémité très large et plate qui sert de gouvernail, et dont l'action s'exerce quelquefois à 10 ou 12 mètres en arrière du bateau. Quand celui-ci s'engage dans la

passe, qui forme un véritable rapide, on croirait qu'il va se briser contre un rocher; mais les marins, avec une adresse extrême, le font virer à angle droit au moyen du gouvernail, et il continue sa route dans le bief suivant.

A l'exposition du Ministère des travaux publics, on pourra voir les photographies de ces bateaux et de la vallée du Douro dans les albums du chemin de fer du Minho et Douro.

On pourra certainement améliorer cet état de choses, et les digues longitudinales reliées aux berges seront peut-être le système de travaux à employer. Seulement l'amélioration doit être faite par l'État au profit de tout le monde et non par une compagnie avec monopole au profit d'intérêts particuliers.

Il y a une certaine ressemblance entre le régime de l'Adour et celui du Douro, même dans leurs embouchures à la mer, dont la passe est très difficile à fixer.

L'entrée du Douro s'est considérablement améliorée depuis quelques années et permet l'entrée des bateaux bien plus grands que l'Adour. Et, si l'opinion de M. Mary a pendant de si longues années exercé une influence défavorable aux travaux entrepris à l'embouchure du Douro, il conviendrait que celle de M. Jacquet sur l'amélioration du cours du fleuve ne fût pas mal comprise et ne vînt pas entraver les études qu'on prépare en ce moment. C'est pour cela que M. Guerreiro lui demande quelques explications auxquelles son autorité si reconnue donnera une grande importance.

M. Jacquet déclare qu'il n'a jamais été l'ennemi du Douro; appelé à formuler à ce sujet son opinion à l'occasion d'une question industrielle se rattachant à l'installation d'une exploitation de minerais de fer à Montecorvo, il a fait connaître que le rendement probable de cette industrie ne comportait pas de sacrifices aussi considérables que ceux auxquels serait entraînée la société concessionnaire pour améliorer le Douro, et qu'il n'évaluait pas à moins de 22 millions. Mais il n'a jamais voulu dire que cette amélioration fût impossible, et il s'associe au désir de M. Guerreiro de la voir réaliser par le gouvernement portugais.

M. Guerreiro se déclare très satisfait d'avoir provoqué cette déclaration de M. Jacquet.

La parole est ensuite donnée à M. Vernon-Harcourt, qui lit, en les développant sommairement, les conclusions de son rapport distribué au Congrès sur la canalisation des rivières et les divers systèmes de barrages mobiles. (Voir ce rapport, page 173 et les conclusions pages 186 et 187.)

M. Boulé, après avoir rendu hommage à M. Vernon-Harcourt dont le rapport contient des renseignements précieux sur des types de barrages mobiles encore très peu connus en France, et dont les conclusions très nettes lui paraissent devoir être complètement approuvées, sous certaines réserves en ce qui concerne seulement les dernières, demande cependant à adresser quelques observations au rapporteur.

1re et 2e conclusions. La profondeur de 2 mètres est, dit-il, le minimum qu'on doit chercher à obtenir sur les voies navigables ; il faut même davantage sur les parties inférieures des fleuves.

Cependant, il y avait anciennement un trafic considérable, et le prix du fret n'était pas exagéré sur beaucoup de voies navigables, où l'on ne trouvait pas même un mètre d'eau pendant la saison sèche. Il en est encore de même sur certains fleuves privilégiés, tels que l'Elbe, le Volga et autres.

Si la profondeur de 2 mètres est aujourd'hui nécessaire, en général, cela tient à ce que les voies navigables moins profondes ne peuvent plus résister à la concurrence que les chemins de fer sont venus faire à la batellerie.

A moins de circonstances particulières, la batellerie à faible tirant d'eau, qui avait la supériorité sur le roulage, a disparu comme lui devant le chemin de fer.

3e conclusion. Le rapport dit ensuite que la grandeur des écluses doit être déterminée par la nature du trafic. En effet, il faut en toutes choses équilibrer les dépenses avec les résultats espérés. M. Boulé approuve d'autant mieux cette conclusion, qu'il l'a déjà développée l'année dernière au congrès de Francfort.

Il faut établir les seuils des écluses plus bas que le chenal dans les biefs, afin de pouvoir augmenter plus tard le mouillage par de simples dragages. C'est ce qui a été fait à Suresnes, où il y a 4 mètres d'eau sur les buscs des écluses, et 3m20 seulement dans le chenal en aval. Mais ce n'est pas seulement en vue des améliorations futures qu'on l'a fait.

D'une part, il faut prévoir le cas où l'on ne pourrait pas toujours maintenir pleins les biefs fermés par des barrages mobiles ; car on ne peut pas éviter quelques négligences accidentelles des gardes des barrages. D'autre part, il y a un tel avantage pour la réduction des frais de transport à augmenter le chargement des bateaux, qu'on accroît toujours les dimensions de ceux-ci, à mesure qu'on augmente celles des écluses. C'est seulement en plaçant les buscs d'écluses plus bas que les maigres du chenal, qu'on peut être certain de ne pas voir un bateau trop chargé venir s'y échouer et barrer complètement la route à toute la batellerie. Il faut aussi que les bouillonnements produits par le remplissage de l'écluse se produisent au-dessous du fond des bateaux.

Mais, d'un autre côté, lorsque les buscs sont plus bas que le lit dans les biefs, on est bientôt tenté d'approfondir celui-ci. Ainsi, de Paris à Rouen, on remarque déjà que si les bateaux peuvent franchir les écluses avec 3 mètres, et même plus, de tirant d'eau, parce qu'ils y passent très lentement, le mouillage de 3 m. 20 ne permet de naviguer, à la vitesse normale, qu'aux bateaux chargés seulement à 2 m. 80 ou même à 2 m. 50. Et déjà la batellerie demande, avec une grande apparence de raison, qu'on approfondisse les biefs de 0 m. 50 ou au moins de 0 m. 30, pour permettre aux bateaux de 3 mètres de tirant d'eau de naviguer en toute sécu-

rité avec une vitesse suffisante. On a même publié par ce motif que le tirant d'eau de 3 mètres promis par la loi de 1878 n'est pas encore réalisé sur la Seine.

4e, 5e, 6e conclusions. — M. Boulé n'a rien à objecter aux 4e et 5e conclusions du rapporteur, et encore moins à la 6e, car il a conclu de même l'année dernière au Congrès de Francfort-sur-le-Mein.

On a, il est vrai, obtenu de très beaux résultats, par la *correction* et la *régularisation* du Rhin, de l'Elbe, du Rhône et autres fleuves à grand débit. Cependant, par ces procédés, on n'obtient qu'exceptionnellement un tirant d'eau de plus de 1 mètre.

En outre, ces travaux donnent souvent lieu à des mécomptes; on ne peut calculer exactement à l'avance le mouillage que l'on pourra obtenir; et si le débit sur lequel on comptait vient à diminuer naturellement par suite de sécheresses prolongées, ou artificiellement par suite de prises d'eau industrielles ou agricoles, le mouillage obtenu se trouve diminué.

On est obligé de reprendre les travaux que l'on croyait terminés, de diminuer l'espacement des digues, ou de prolonger les épis.

Sur le Rhin on a obtenu le mouillage de 3 mètres en aval de Cologne, celui de 2 mètres de Cologne à Saint-Goar et 1 m. 50 en amont; mais à la condition que les eaux se tiennent au-dessus de la cote 1 m. 50 à l'échelle du pont de Cologne.

Or la cote à Cologne a été inférieure à 1 m. 50 pendant 107 jours en 1858, 94 jours en 1865, 89 jours en 1874 et 45 en 1887.

Sur l'Elbe les travaux de régularisation étaient terminés, en Saxe ils avaient parfaitement réussi, on avait obtenu le mouillage bien modeste de 0 m. 94 prévu aux projets, lorsqu'il survint une année très sèche : en 1874 le mouillage tomba à 0 m. 74 et l'on s'occupa de rétrécir de nouveau le chenal, d'allonger les épis.

D'ailleurs, les travaux de régularisation des berges ne suffisent pas toujours.

Toutes les rivières présentent une succession de mouilles profondes et de maigres formant de véritables chutes. On peut dire que les mouilles sont des biefs à très faible pente et les maigres des seuils de véritables barrages naturels.

Si on resserre un maigre entre deux digues, le courant augmente, affouille le fond et l'eau baisse dans la mouille supérieure et jusqu'au maigre suivant, sur lequel la chute augmente et la profondeur diminue.

On cherche alors à maintenir le lit à un niveau convenable par des épis noyés, ou *seuils de fond*, qui sont de véritables radiers de barrages, établis précisément à la même profondeur sous l'eau que ceux des barrages mobiles.

Cela fait, il suffirait d'établir des mécanismes mobiles sur les *seuils de fond*, pour obtenir un mouillage bien plus grand. C'est ce qu'on a fait d'ailleurs à l'origine et de là vient le nom de *hausses* donné aux vannes de

quelques barrages mobiles. Elles servaient à exhausser les barrages fixes, dont le seuil était placé un peu plus haut que celui des épis noyés du Rhône.

Avec les barrages mobiles, aucun mécompte n'est à craindre; on peut calculer d'avance le résultat qu'on obtiendra avec certitude, aussi la dépense nécessaire pour obtenir le mouillage désiré. Si on a exhaussé déjà les barrages primitifs de la haute Seine, de la basse Seine, de la Marne, ce n'est pas pour rectifier une erreur, mais parce qu'après avoir obtenu le mouillage de 1 m. 50 on a voulu avoir 2 mètres, puis 3 mètres. Et il est à remarquer qu'on a pu passer de 1 m. 60 à 2 mètres entre Paris et Montereau, et entre l'Oise et Saint-Denis de 2 mètres à 3 mètres, en remplaçant, quelquefois même en exhaussant simplement les mécanismes mobiles, sans modifier en rien les radiers des barrages.

Les travaux de canalisation peuvent se faire progressivement. M. Jacquet, dans son rapport, explique que sur la Ruhr on avait établi onze barrages dont les biefs présentaient une certaine pente; on établit plus tard des *seuils de fond* pour augmenter cette pente et par suite le mouillage sur les buscs d'aval des écluses.

Aujourd'hui, on projette de canaliser complètement la Ruhr avec des barrages plus nombreux et plus élevés, sans tenir compte des pentes.

On a fait à peu près de même sur la Seine. On a établi d'abord quelques barrages, pour relever le niveau de l'eau sur les maigres les plus difficiles à franchir, puis on a construit d'autres barrages dans les intervalles des premiers.

En dernier lieu, on les a exhaussés tous pour arriver au mouillage de 3 mètres.

Enfin, il faut remarquer qu'une rivière à fond mobile, régularisée, a un régime continuellement variable. A mesure que le débit des eaux varie, le se déplace. Sur une rivière canalisée avec des barrages mobiles de grande hauteur, élevant les retenues jusqu'au niveau des berges, tant que ceux-ci sont fermés, la pente est trop faible pour que le lit se modifie.

Pendant les crues, la rivière est complètement libre, les atterrissements, le fond mobile, prennent naturellement la forme qui convient au régime des grandes eaux, ils ne peuvent plus être remaniés par les eaux moyennes, car alors on referme les barrages, le courant n'est plus assez fort pour modifier le lit.

On a cependant obtenu de très beaux résultats sur le Rhône par les travaux récents de régularisation des berges et du lit. En 1880, le trafic entre Lyon et Arles était tombé à 156 600 tonnes de trafic moyen ramené à la distance entière, soit 44 945 000 tk. pour les 287 kilomètres. Depuis cette époque, il a augmenté de 40 pour 100; en 1887, le trafic moyen était de 221 900 t., le trafic kilométrique de 63 685 397 tk. Mais ces chiffres absolus sont encore bien éloignés de ceux de la Seine : 3 114 322 t.

de trafic moyen de Saint-Denis à l'Oise, 390 000 000 tk. de Paris à Rouen sur 234 k.

7e conclusion. — M. Jacquet, répondant à l'orateur, dit que le trafic du Rhône a augmenté sans que le matériel ait été changé; il a augmenté uniquement parce que les chômages ont été supprimés.

Quant à l'uniformité de navigation, elle n'existe pas sur l'Elbe où il n'y a ni uniformité de vitesse, ni même uniformité de tirant d'eau, et cependant les Allemands obtiennent sur leur rivière des résultats comparables à ceux de la Seine. Pour avoir une uniformité, il faut d'abord avoir des rivières à pente très douce, cette uniformité n'existerait pas sur des rivières à grande pente; on peut même dire qu'elle n'existe pas complètement sur la Seine. Dès que la Seine est en crue, le touage devient un moyen de traction très utile et qu'on trouve même alors insuffisant.

Cette uniformité si précieuse dans les rivières canalisées exige certaines conditions que toutes les rivières ne remplissent pas.

M. Boulé rappelle qu'il y a quelques années, à l'une des séances de la Société des ingénieurs civils, il a défendu énergiquement les travaux exécutés sur le Rhône. Il est certain que les rivières canalisées sont des canaux pendant une partie de l'année. M. Jacquelin demande que l'on fasse des canaux latéraux, M. Vernon-Harcourt peut raconter que l'un de ses compatriotes proposait d'abandonner toutes les rivières et de mettre des canaux à côté. On lui disait : « Pourquoi la Providence a-t-elle fait des rivières? » et il répondait que c'était pour alimenter les canaux.

M. Jacquelin dit qu'au lieu de canaliser la Loire on a fait un canal latéral de 192 kilomètres de longueur et il croit pouvoir dire que c'est la seule voie navigable de France qui donne une navigation régulière, constante, sûre et certaine.

M. Jacquet fait remarquer qu'on descend le Rhône de Lyon à Arles en un jour et qu'on le remonte en trois jours, tandis que sur un canal ce parcours exigerait au moins huit jours.

M. Boulé reprenant son exposé dit qu'il n'a aucune objection à faire à la 7e conclusion de M. Vernon-Harcourt. Il lui semble impossible de creuser la Seine depuis Rouen jusqu'à Paris pour y faire remonter les navires de mer; la chute du barrage de Paris serait de 25 mètres; en s'arrêtant à Poissy elle serait encore de 12 à 15 mètres, la masse des dragages serait excessive, on ne saurait où les déposer, la dépense serait effrayante.

Mais on soutient qu'il y a trop d'écluses de Paris à Rouen, qu'on peut augmenter leur chute, réduire leur nombre de 9 à 4. Le nombre de 9 pourrait en effet être diminué, 6 suffiraient, mais avec 4 les chutes des barrages, la masse des dragages et les dépenses seraient excessives.

Sur la demande de l'orateur, la suite de la discussion est renvoyée au lendemain.

La séance est levée à 11 h. 15.

TROISIÈME SÉANCE

Mercredi 24 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures, sous la présidence de M. de Raeve.

M. le Président se fait l'interprète du bureau et du Congrès en remerciant les ingénieurs qui ont bien voulu accompagner les membres du Congrès pendant la visite du barrage de Port-à-l'Anglais et du halage funiculaire, et leur fournir toutes les explications nécessaires.

En ce qui concerne l'expérience du halage funiculaire à laquelle le Congrès a assisté, M. le Président est heureux de féliciter M. Maurice Lévy des résultats auxquels il est arrivé. Si, comme on peut l'espérer, ce système réalise un accroissement de vitesse, la régularité des mouvements et l'abaissement du fret, il constituera pour tout le pays un nouvel élément de richesse et de prospérité.

La parole est donnée à M. Boulé pour continuer son exposé.

En ce qui concerne les conclusions n°s 8, 9, 10 de M. Vernon-Harcourt, l'orateur n'a que quelques observations à présenter, car il est bien près d'être d'accord avec le rapporteur.

M. Vernon-Harcourt a dit que les fermettes peuvent être avariées lorsqu'on les couche sur le radier et lorsqu'on les relève. Cela est, en effet, arrivé au barrage de Port-Villez lors des premières manœuvres, mais ne s'est pas produit depuis cette époque, et l'orateur ne connaît pas d'autre exemple d'un semblable accident. Or, lors de la visite du jury de la classe 63 au pavillon des Travaux publics, un des constructeurs les plus compétents, M. Joly d'Argenteuil, déclarait publiquement qu'il connaissait bien les fermettes de Port-Villez, pour les avoir réparées et pour avoir remplacé celles qui étaient hors de service. Il disait nettement qu'elles avaient été mal construites par l'entrepreneur qui les avait exécutées, et il ajoutait qu'il avait regretté d'être conduit à en faire de semblables, parce que leurs dispositions générales ne lui plaisaient pas, et qu'elles lui paraissaient mal entretoisées. Ce n'est donc pas aux fermettes en général que la critique de M. Harcourt s'adresse, mais à un type particulier, mal exécuté. D'ailleurs, lorsqu'une fermette est avariée, il est très facile de la remplacer, sans modifier le niveau du bief. A Andrésy, un bateau s'est jeté

sur les fermettes, il y a quelques années, il a franchi le barrage, il a même continué sa route, malgré quelques avaries. On a remplacé une douzaine de fermettes successives sans vider le bief, on a seulement diminué la chute, autant qu'on a pu le faire, sans mettre la navigation en chômage.

Le système des fermettes suspendues à un pont supérieur est, dit M. Harcourt, plus parfait, quoique plus coûteux, que celui des fermettes s'abattant sur le radier. Il est préférable pour les fleuves à courant rapide qui charrient du gros gravier. M. Boulé l'admet.

Ce remarquable et grandiose système serait, dit-il, sans doute nécessaire pour le Rhône. Malheureusement, il est bien dispendieux; les fondations sont les mêmes, les fermettes pèsent le même poids, qu'on les abatte sur le radier ou qu'on les relève sous un pont. Il faut donc ajouter les piles et le pont, et l'on double ainsi la dépense. Il ne faudrait donc établir le pont que sur les passes profondes navigables; deux passes de 30 mètres suffiraient pour laisser passer les sables et graviers pendant les crues. Les autres passes ayant leur radier bien au-dessus du fond, les fermettes n'y auraient aucun danger à courir. Tel était, d'ailleurs, le projet de M. Tavernier, lorsqu'il proposa, le premier, ce type de barrage en 1872.

M. Harcourt estime que de petites vannes glissant sur des fermettes ne permettent pas de régulariser le niveau des eaux aussi bien que les rideaux articulés. Il pense aussi que la limite de hauteur des fermettes a été atteinte à Suresnes. L'orateur est convaincu que M. Harcourt changera d'avis sur ces deux points, après avoir visité en détail le barrage de Suresnes.

Quant au barrage Chanoine, quoique ce système soit assez compliqué, que sa construction exige une étude très minutieuse de tous les moindres détails, et qu'il soit parfois difficile de relever les hausses du haut du bateau de manœuvre, il présente de grands avantages, surtout quand on peut se dispenser de le doubler d'une passerelle à fermettes, et il peut être nécessaire de l'employer dans certains cas particuliers. Ainsi il peut être ouvert entièrement en quelques minutes, quand il n'y a pas de passerelle, ou bien lorsqu'on a eu soin d'abattre celle-ci à l'avance, et il est le seul qui n'ait alors rien à craindre des glaces. M. Boulé a vu la Seine prise de glaces en amont des barrages Chanoine, à Melun en 1865, et à Port-à-l'Anglais en 1871 et en 1872. Les trois fois on a ouvert le barrage au moyen des barres à talons sans aucune difficulté et sans aucune avarie.

On prétend que les barres à talons sont délicates et se dérangent souvent. Cela est possible à certains barrages, où le constructeur a donné une constitution délicate aux barres à talons, mais dans les barrages construits par M. Chanoine lui-même, les barres sont robustes; elles le sont encore plus au pertuis de Port-à-l'Anglais. D'ailleurs, on peut toujours ouvrir le barrage sans se servir des barres à talons. Mais, si on les supprime, comme au barrage de la Mulatière, il vaut mieux renoncer au système et revenir au barrage à fermettes, car on supprime en même temps les plus

grands avantages du type Chanoine : l'ouverture rapide et la possibilité de recevoir les glaces sans danger.

On a dit aussi que les hausses peuvent être avariées en tombant sur le radier. Oui, si l'on ouvre quand l'eau est basse, mais le barrage ne doit être ouvert que pour les crues, et alors il y a beaucoup d'eau en aval, et les hausses ne risquent rien en tombant. On a même fait fonctionner quelques-uns des barrages de la haute Seine, pendant plusieurs années, pour les écluses, de 1865 à 1868 ; on les abattait brusquement, alors qu'il y avait très peu d'eau en aval, et comme elles étaient très robustes, elles n'en souffraient pas trop. S'il en est autrement ailleurs, c'est, comme pour certaines fermettes, le fait du constructeur et non celui du système.

Le véritable inconvénient du système Chanoine, c'est qu'on ne peut pas refermer le barrage aussitôt après l'avoir ouvert. Il faut attendre un abaissement assez considérable, tandis que les barrages à fermettes peuvent être refermés aussitôt après avoir été ouverts, quel que soit le niveau de l'eau, pourvu que la passerelle ne soit pas submergée. Or, les fermettes peuvent être aussi hautes qu'on le veut; on peut placer la passerelle au-dessus du niveau des grandes crues.

11e, 12e, 13e, 14e conclusions. — Les améliorations des voies fluviales, dit M. Harcourt, ne peuvent être entreprises que sous le contrôle de l'État, mais ne peuvent être considérées comme d'intérêt public au même titre que les autres voies de transport. Les statistiques démontrent que la plupart des voies navigables françaises ne sont fréquentées que très peu et ont peu d'utilité. Cependant le rapporteur se hâte d'ajouter que l'amélioration de certaines voies navigables constitue un *bienfait national.*

Il est certain qu'il ne faut pas construire ou améliorer *à grands frais* une voie de transport quelconque, si on n'est pas assuré qu'elle desservira un grand trafic.

Comme l'orateur le disait, il y a un an, à Francfort : En toutes choses, l'utilité doit déterminer le but à poursuivre; il faut fixer la somme à consacrer à une voie de transport d'après le trafic qu'elle est appelée à desservir.

On connaît les magnifiques résultats des travaux de la Seine, tant en amont qu'en aval de Paris.

L'intérêt des dépenses faites depuis cinquante ans représente 0f,012 sur la basse Seine, 0f,00875 seulement sur la haute Seine pour chaque tonne du trafic actuel, transportée à un kilomètre, et les frais de transport ont diminué de 0f,08. C'est un bénéfice de 6 à 10 pour 1.

Les capitaux dépensés produisent en économie sur les frais de transport un revenu de 35 pour 100 par an, par rapport aux prix de fret d'il y a cinquante ans. Si on ne veut remonter qu'à 1860, le revenu est encore de 15 à 17 pour 100.

Mais, dit-on, en dehors de la Seine et des voies navigables du Nord, de l'Est et de Paris à Lyon, le trafic de la batellerie est bien faible; les autres

voies n'ont pas d'utilité. En effet, dit l'orateur, cela est vrai aujourd'hui, mais pourquoi? Ce n'est pas le trafic disponible qui manque, c'est l'eau.

Si les voies navigables, les plus prospères il y a soixante ans, sont délaissées, si on n'y circule plus, c'est que leur état de navigabilité est trop défectueux. Anciennement, malgré de longs chômages, l'été faute d'eau, et l'hiver pendant les crues, elles avaient la supériorité sur le roulage; aujourd'hui, elles ne peuvent résister à la concurrence des chemins de fer.

Qu'on les améliore, comme on a fait pour les voies aujourd'hui fréquentées, elles reprendront leur importance immédiatement, et M. Boulé croit qu'il faut adopter en France, comme ailleurs, la formule allemande : l'État doit l'eau, sans péage, aux bateliers, comme il doit des routes carrossables à la circulation générale, comme il a fait naguère à ses frais, les travaux d'infrastructure de la plupart des voies de fer. Le commerce, les armateurs doivent exploiter les voies livrées par l'État et fournir le matériel. On dira peut-être que les écluses, les barrages sont du matériel, que leur manœuvre appartient au service de l'exploitation. Ce serait une erreur : sans barrages, sans écluses, il n'y a pas d'eau, partant pas de voie réellement navigable, pas de trafic possible.

M. Boulé résume sa communication dans les conclusions suivantes :

Les mêmes procédés d'amélioration ne peuvent pas s'appliquer à tous les fleuves. Ceux-ci diffèrent considérablement les uns des autres; les diverses parties du cours d'un fleuve varient même beaucoup entre elles, tant par l'abondance des eaux que par leur pente et par la hauteur des berges.

Canalisation. — La canalisation au moyen de barrages mobiles convient principalement à la partie moyenne des cours d'eau, lorsque le débit des eaux se réduit beaucoup pendant la saison sèche, mais que la pente est modérée et que les rives ne sont pas trop basses.

Quelle que soit la hauteur des berges, on sait construire maintenant des barrages assez élevés pour obliger le fleuve à couler à pleins bords, en toutes saisons; leur action s'étend alors à de très grandes distances en amont.

Canal latéral. — Mais si les berges sont basses, si la pente est très forte, les barrages se trouvent très rapprochés, les écluses trop nombreuses; il peut être alors nécessaire de recourir, dans les parties hautes des vallées, à la construction d'un canal latéral. Celui-ci sert d'ailleurs d'intermédiaire entre la rivière canalisée et le canal à point de partage indispensable, lorsqu'on veut prolonger la voie navigable jusqu'à un autre fleuve, en franchissant le faîte séparatif.

Correction. — Régularisation. — Lorsqu'au contraire le volume des eaux est abondant en toutes saisons, que le mouillage n'est pas trop faible et que la largeur du fleuve est grande, comme cela se présente la plupart du temps dans les parties basses des vallées, les travaux de correction et

de régularisation peuvent suffire pour assurer un mouillage suffisant à la batellerie; ils sont d'ailleurs indispensables dans la plupart des cas, car avant de canaliser une rivière, il faut d'abord en fixer le cours et les rives. Il faut même poursuivre ces travaux primordiaux après la canalisation, si on ne les a pas achevés auparavant. En effet, les rivières canalisées au moyen de barrages mobiles sont rendues à leur cours naturel, dès que les eaux y deviennent suffisamment abondantes; elles sont alors des cours d'eau à grand débit auxquels les travaux de régularisation conviennent le mieux.

En résumé, dans l'état actuel de la science et de l'art des constructions, on peut affirmer que rien n'est plus impossible à l'art de l'ingénieur, à condition toutefois qu'on fasse abstraction de l'importance des dépenses. Dans cette hypothèse, on serait en mesure d'établir les plus grandioses voies navigables, de canaliser les plus grands fleuves, et d'amener même les plus grands navires au centre des continents.

Mais en toutes choses l'utilité doit déterminer le but à poursuivre, c'est aux gouvernements, aux financiers, aux négociants qu'il appartient de fixer les dépenses de premier établissement que l'on peut consacrer utilement à une voie de transport, d'après l'importance du trafic qu'elle est appelée à desservir.

Le problème ainsi posé, les ingénieurs possèdent aujourd'hui tous les moyens de le résoudre, en déterminant, suivant les circonstances, les dimensions qu'il convient de donner à la voie.

La parole est donnée à M. Jacquelin, qui développe la thèse qu'il a déjà esquissée dans une précédente séance et qui tend au remplacement des rivières canalisées par des canaux latéraux.

La canalisation des rivières, dit l'orateur, est certainement une amélioration, mais bien certainement aussi, c'est une demi-mesure.

Et pour le démontrer, il fait un historique rapide de la navigation, en commençant par la Seine, fleuve que l'on considère comme complet au point de vue de la navigation :

Les premiers travaux de canalisation furent exécutés de Saint-Mammès, dans le département de Seine-et-Marne, au Port-à-l'Anglais, puis plus tard jusqu'à Paris, sur une longueur de 88 kilomètres.

Au moment des grandes eaux qui se produisent à la suite des hivers neigeux, il faut, dit M. Jacquelin, abaisser les barrages de peur de les voir emporter : alors, la navigation est pour le moins imprudente, souvent dangereuse et même impossible pendant vingt-cinq à trente jours et quelquefois même pendant soixante-dix jours.

Sur la basse Seine, qui, en ces derniers temps, a été considérablement améliorée par l'augmentation du tirant d'eau, de Paris à Rouen (244 kilomètres), les crues qui se produisent à la suite des hivers arrêtent encore la navigation, moins cependant à la remonte qu'à la descente, car la remonte est moins dangereuse que la descente.

Donc, prétend M. Jacquelin, la Seine n'a pas été maîtrisée, réglementée, mais améliorée par son tirant d'eau.

Le coût de la canalisation de la Seine, de Saint-Mammès à Rouen (332 kilomètres), ne semble pas à l'orateur devoir différer beaucoup de la dépense qu'aurait entraînée la construction d'un canal latéral à la Seine et de même longueur.

Mais en admettant même que le canal latéral à la Seine ait coûté beaucoup plus cher que le canalisation de la Seine, il est nécessaire de retenir que le canal donne à la batellerie la certitude d'une navigation facile, régulière, constante, et qu'à cause de ces avantages la batellerie peut alors faire des transports au prix de un centime par tonne et par kilomètre.

Le canal, c'est la route facile pour tous, à la disposition de tous, sans risques, sans expérience à acquérir, sans connaissances spéciales; c'est le motif du bon marché de ce mode de transports.

La Seine canalisée n'est pas à la disposition de tous.

Tenant compte de ce qui a été dépensé en activité, en études, ou capitaux, M. Jacquelin estime qu'il n'y a plus lieu de toucher à la Seine, de la modifier; mais si les finances de l'Etat le permettaient, il pense qu'il faudrait *construire un canal latéral à la Seine allant de Saint-Mammès pour aboutir dans les bassins du port du Havre, en utilisant le canal de Tancarville*, et que ce serait le seul mode de relèvement de notre premier grand port de commerce, le Havre, sans que Rouen y perdît rien.

A l'aide de barrages établis en amont de la Seine, les eaux de ce fleuve ainsi retenues serviraient à l'alimentation de ce canal.

Et cette fois la Seine aurait été réellement maîtrisée, elle serait devenue prisonnière; on lui aurait fait rendre tous les services que l'on attendait d'elle et, en cas d'inondations, ses eaux se déversant en deux branches, dont l'une d'elles, le canal, pourrait avoir des dérivations, ses eaux ne causeraient plus la désolation en apportant la dévastation.

L'orateur n'ignore pas les objections que l'on peut lui faire, la lenteur de la fonte des glaces dans les canaux, par exemple, mais il répond que, par contre, il n'y a pas de débâcle à craindre au dégel, emportant tout sur son passage.

Le défaut de vitesse également; mais il ne croit pas que le transporteur ait toujours le bénéfice de la rapidité de sa marche.

Il lui semble qu'on abuse de la vitesse, et du reste il affirme que sur le canal on obtient toujours, en la payant, la vitesse que l'on désire.

En ce qui concerne le Rhône, l'orateur pense qu'un canal latéral est encore utile, et plus peut-être que pour la Seine, la seule solution définitive. Ce canal serait latéral à la Saône et au Rhône.

Il partirait de Corre, jonction du canal de l'Est, et viendait aboutir dans les bassins du port de Marseille.

Par des barrages en Saône, ce canal serait alimenté par les eaux de la Saône. Et alors, comme la Seine, la Saône serait emprisonnée; il pourrait en être de même du Rhône.

La Saône et le Rhône ayant une grande partie de leurs eaux utilisées pour l'alimentation du canal, ne seraient plus des causes de grands désastres au moment de leurs inondations.

Sur ce canal, le fret, le prix du transport, serait de un centime par tonne et par kilomètre.

Ce canal, par des conduites spéciales, apporterait à Marseille de l'eau potable, ce qui permettrait d'assainir cette grande cité.

Ce canal serait un puissant auxiliaire comme transport à bon marché pour nos provinces algériennes.

Ce serait le relèvement du grand port de commerce de Marseille, et Lyon n'y perdrait rien.

Nantes est en communication par des voies navigables avec Redon, Lorient, Brest et Saint-Malo.

Une de ces lignes navigables, la Vilaine, canalisée entre Redon et Rennes, est la plus ancienne navigation artificielle de France; les travaux y ont été commencés en 1538 et terminés en 1575.

Pour les produits qui arrivent par mer à Saint-Nazaire ou par chemin de fer à Nantes, ou par canaux venant de Bretagne, les deux villes de Saint-Nazaire et de Nantes n'ont pas de voies de réexpédition économique pour venir vers le grand consommateur : Paris.

M. Jacquelin ne considère pas en effet que le canal du Berry soit une voie navigable utilisable pour Saint-Nazaire et Nantes, bien qu'elle aboutisse au canal latéral à la Loire.

Cette voie est trop longue, par conséquent son prix de transport trop élevé, et le tonnage des bateaux trop faible (60 tonnes environ sur le canal du Berry).

Une loi du 17 juin 1836 concède un canal latéral à la Loire ayant un développement de 400 kilomètres partant de Briare (Loiret) aboutissant à Nantes (Loire-Inférieure).

Ce canal ne fut pas exécuté, et les études en furent reprises en 1861-1864.

M. Jacquelin pense que ce projet convenablement modifié, c'est-à-dire aboutissant non plus à Nantes, mais bien à Saint-Nazaire, fournit la seule solution acceptable pour l'amélioration de la Loire.

Pour bien démontrer que les fleuves ou rivières doivent seulement servir à alimenter d'eau les canaux, M. Jacquelin fait alors l'historique de quelques canaux, qui sont alimentés au moyen des réservoirs ou étangs, qui à leur tour ne s'emplissent qu'à l'aide des eaux fluviales.

Canal de Briare. — Ce canal et celui du Loing, qui en est la continuation, mettent en communication la Loire et la Saône avec la Seine.

L'idée de ces jonctions remonte à François Ier, mais son plus grand développement est dû à Adam de Craponne.

D'après les ordres d'Henri IV, Sully fit travailler six mille soldats à l'ouverture de ce canal, de 1605 à 1610; les travaux furent interrompus par la mort du roi, ils ne furent repris qu'en 1638 pour être terminés en 1642. Ce canal est le premier canal à point de partage; il fait par ce motif le plus grand honneur à ceux qui en ont conçu le projet et à ceux qui l'ont exécuté et parmi lesquels l'histoire ne doit pas oublier le nom de l'illustre ingénieur de Bouthern.

Ce canal est alimenté d'eau par des réservoirs qui sont au nombre de quatorze. La superficie totale de ces réservoirs à leur plein d'eau est de 413 hectares 03 ares 98 centiares; et leur contenance totale de 11 553 750 mètres cubes.

Leur installation si merveilleuse est ignorée de la batellerie elle-même; mais lorsque la sécheresse persiste, les réservoirs s'altèrent, l'eau devient si rare que la navigation devient difficile et quelquefois est forcément arrêtée. Ce fait se produit rarement, mais cependant il s'est produit dans l'exercice 1881-1882, et des bateaux chargés ont mis dix et onze mois pour faire le trajet de Chalon-sur-Saône à Paris, trajet qui habituellement se fait en vingt-cinq ou trente jours.

En cette circonstance l'État fit des sacrifices énormes.

Des pompes à vapeur furent installées au canal de Briare et au canal du Centre; elles puisaient l'eau dans les rivières ou étangs à proximité de chacun de ces canaux et l'amenaient dans les biefs de ces canaux.

M. Jacquelin estime qu'alors les dépenses de l'État furent d'environ 1 million de francs. Il évalue à 2 millions de francs celles de la batellerie, et à 3 millions de francs les pertes ou mieux la plus-value de transports payée par les marchandises qui furent forcées d'emprunter la voie ferrée.

Cependant à la même époque la navigation était régulière, constante, sur les deux canaux de Roanne et latéral à la Loire, qui sont alimentés directement, le premier par les eaux de la Loire, le second par les eaux de l'Allier.

L'orateur tire de ce fait un argument de plus en faveur de son principe, des canaux latéraux aux cours d'eau et alimentés par ces mêmes cours d'eau.

Canal d'Orléans. — Commencé en 1682 et terminé en 1692 par le duc d'Orléans, ce canal va de Combleux à 6 kilomètres en Loire, en amont de de la ville d'Orléans à Bûges, où il se relie au canal du Loing, se dirigeant vers la Seine.

Il est alimenté par quatorze réservoirs ou étangs, se remplissant eux-mêmes avec l'aide seulement des eaux pluviales.

La superficie totale de ces 14 réservoirs ou étangs est de 285 hectares 12 ares; leur contenance totale de 4 415 220 mètres cubes.

Un transporteur par eau a dans les mois de mars, avril et mai de

l'année 1875 épuisé à peu près complètement cet approvisionnement en transportant environ 60 000 tonnes de sable pour la compagnie du chemin de fer d'Orléans à Châlons, de Combleux à Fay-aux-Loges.

Les écluses de la plupart des canaux ont été mises aux nouvelles dimensions réglementaires ; aucune réfection n'a encore eu lieu pour les écluses du canal d'Orléans.

Ce canal pouvant être difficilement alimenté d'eau, ses écluses n'étant pas refaites, l'orateur croit pouvoir déclarer qu'il ne compte pas comme navigation, et il en conclut qu'en 1889, Nantes est toujours, comme en 1642, à une distance de 400 kilomètres d'une voie navigable se dirigeant sur Paris. Il lui semblerait imprudent de songer au prolongement du canal d'Orléans même et seulement jusqu'à la ville d'Orléans, car il sera toujours insuffisant pour donner satisfaction aux seuls intérêts de cette ville. Toutes les villes industrielles riveraines de la Loire : Orléans, Blois, Tours, Angers, Nantes, ont un intérêt à demander un canal latéral à la Loire, de Briare à Saint-Nazaire, qui seul leur assurera des transports à bon marché.

Canal du Centre. — Ce canal, aussi appelé du Charolais, met en communication la Saône et la Loire. Cette communication donna, dès 1515, naissance à plusieurs projets, mais tous restèrent sans exécution jusqu'à l'édit de février 1783, qui détermina l'ouverture de ce canal; on y employa trois régiments ; les travaux furent terminés en 1793.

Ses réservoirs sont au nombre de douze, et leur superficie totale à plein d'eau est de 575 hectares 80 ares 92 centiares, et leur contenance totale de 21 800 000 mètres cubes.

Sans vouloir aborder la description de tous les canaux de France, alimentés par des réservoirs, M. Jacquelin se borne à rappeler que treize canaux sont alimentés au moyen de réservoirs; que ces canaux sont ceux des *Ardennes*, de *Berry*, de *Bourgogne*, de *Briare*, du *Centre*, de l'*Est*, d'*Ille-et-Rance*, de la *Marne-au-Rhin*, du *Midi*, de *Nantes-à-Brest*, du *Nivernais*, de *l'Oise-à-l'Aisne*, d'*Orléans*.

Ces treize canaux possèdent ensemble 73 réservoirs. A leur plein d'eau, ces 73 réservoirs ont une superficie totale de 3516 hectares 20 ares 27 centiares, contenant ensemble 131 583 356 mètres cubes d'eau. Mais ces réservoirs ne se remplissent eux-mêmes qu'à l'aide des eaux pluviales.

Trois canaux de France sont alimentés par des eaux prises en rivière par des machines ; ce sont les suivants : *Aisne-à-la-Marne*, *Marne-au-Rhin* (une partie), de *Roubaix*.

Les relevés faits par l'orateur de 1876 à 1880 inclus, lui semblent démontrer que les nouveaux canaux doivent être alimentés par l'eau des fleuves, rivières ou cours d'eau, et non plus, d'une manière générale, par des réservoirs.

La contenance totale des quatorze réservoirs du canal de Briare à plein d'eau, est de 11 553750 mètres cubes; or au 1er novembre de l'année 1875,

il ne restait au total et pour tous les réservoirs que 357 793 mètres cubes.

Novembre est pluvieux et neigeux, aussi on retrouve au 1er décembre de la même année 1875, les réservoirs avec une contenance totale de 3 347 520 mètres cubes.

Heureusement pour la batellerie, l'hiver de 1876 est pluvieux et neigeux; aussi au 1er mars de cette même année, les réservoirs ont leur plein, et au chômage de la même année, il leur reste encore une provision de 4 493 768 mètres cubes.

En présence de ces différents chiffres, M. Jacquelin se trouve amené à dire que ce qui, au règne d'Henri IV pouvait être suffisant, est devenu insuffisant à cause du développement des transports.

L'orateur passe ensuite à deux canaux alimentés d'eau par l'eau de deux cours d'eau.

Canal latéral à la Loire. — Allant de Digoin (Saône-et-Loire) à Briare (Loiret), les premiers projets de ce canal remontent au commencement de ce siècle, et son exécution a été ordonnée par une loi du 14 août 1822.

Ses deux ponts-aqueducs, l'un de onze arches, l'autre de dix-huit arches sont célèbres.

Il a une prise d'eau dans l'Allier, à la suite de son pont-aqueduc, au Bec d'Allier.

Son alimentation est assurée et, par suite, la navigation y est sûre, certaine, régulière, constante, pas de crues à craindre. M. Jacquelin le considère comme le plus beau canal de France.

Son développement est de 192 kilomètres, sans embranchements, et bien que par la Loire, la distance soit de 207 kilomètres, les ingénieurs de 1822 n'ont pas hésité à renoncer à la canalisation, pour, de préférence, construire le canal; ils ont fait ainsi, dit l'orateur, œuvre durable et rendant d'immenses et réguliers services.

Presque en même temps, on construisait le canal de Roanne.

Ce canal va de Roanne à Digoin; il a un développement de 56 kilomètres, est alimenté par une prise d'eau en Loire à Roanne; là encore, bien que par la Loire, la distance de Roanne à Digoin soit de 57 kilomètres, les ingénieurs n'ont pas hésité à abandonner la canalisation de la Loire, pour, de préférence, exécuter le canal.

Ces deux exemples paraissent si probants à M. Jacquelin, qu'il renonce à en citer d'autres et par la même raison à traiter la question des barrages mobiles. Ses conclusions se résument ainsi :

Pas de canalisation de fleuve, rivière ou cours d'eau.

Prochains travaux qui s'imposent d'urgence :

1° Canal latéral à la Saône et au Rhône partant de Corre et aboutissant dans les bassins de Marseille.

2° Canal latéral à la Loire, partant de Briare et aboutissant dans les bassins de Saint-Nazaire.

3° Quand les finances de l'État seraient en excédent de recettes, un canal

latéral à la Seine, partant de Saint-Mammès et aboutissant dans les bassins du port du Havre, en utilisant le canal de Tancarville.

M. Cameré demande à présenter quelques observations au sujet des appréciations contenues dans le rapport de M. Vernon-Harcourt, relativement aux conditions toutes spéciales dans lesquelles serait applicable le type du barrage de Poses eu égard aux dépenses qu'il entraîne.

Lorsque les ingénieurs de la Basse-Seine présentèrent l'avant-projet du mouillage de $3^m,20$ entre Paris et Rouen (1875), ils partirent de ce principe qu'à cette époque les types de barrages mobiles connus ne permettaient pas de constituer des passes navigables fermées par des vannages ayant plus de quatre mètres de hauteur verticale au-dessus du seuil amont de ces passes.

En conséquence, ils partagèrent la Seine en biefs ayant une longueur moyenne de 25 kilomètres et variant entre 10 kilomètres et 31 kilomètres. Grâce au type du barrage de Poses, cette hauteur de quatre mètres pouvant être dépassée avec toute sécurité, l'administration, sur la proposition de l'orateur, se décida, en exécution, à supprimer le barrage-écluse d'Andé et à établir à Poses un barrage présentant un vannage de cinq mètres au-dessus du seuil amont, et couvrant un bief de 41 kilomètres de longueur.

Par suite de la convenance d'utiliser les barrages de la retenue de Saint-Aubin-Martot, dans les travaux du mouillage de $3^m,20$, la position du barrage de Poses ne pouvait varier beaucoup. Or, dans la région où il a été établi, le fond rocheux de la vallée situé à $5^m,30$ au-dessous du niveau de la mer est recouvert d'une couche d'alluvions anciennes composée de gravier, sable et vase de $8^m,40$ d'épaisseur.

En présence de l'insuffisance des fondations des anciens barrages constitués par des massifs de béton et maçonnerie établis dans l'intérieur d'une enceinte en pieux et palplanches, mais reposant seulement sur la couche de sable et gravier à $3^m,50$, en nombre rond, au-dessous de l'étiage, fondations qui ont donné lieu à des renards qui ont dû être bouchés tant bien que mal avec des enrochements et des sacs de terre glaise, la prudence la plus élémentaire commandait de descendre, sur le sol imperméable et inaffouillable, les fondations du barrage de Poses, dont la chute effective devait atteindre $4^m,18$ en basses eaux et même $4^m,57$ en temps de chômage du bief inférieur.

C'est ce que M. Cameré a proposé et ce que l'administration a admis.

Dans ces conditions, les fondations du barrage de Poses ont exigé un massif de maçonnerie de 250 mètres de longueur avec une largeur moyenne de $14^m,69$ et une épaisseur de $9^m,33$.

On ne saurait évidemment imputer la dépense relative à ces fondations exceptionnelles, au type du barrage de Poses.

En fait, le barrage de Poses, en limitant ses fondations à un plan passant

à 3m,50 au-dessous des plus basses eaux pendant sa construction, a coûté 8015 francs le mètre courant, y compris tous les engins de manœuvre, d'après le détail suivant :

Maçonneries		4 824 francs.
Parties métalliques.	Ponts supérieurs	1 871 —
	Cadres articulés	878 —
Vannage		331 —
Appareils de manœuvre		111 —
Total		8 015 francs.
Quant aux fondations exceptionnelles, elles ont coûté par mètre courant		8 521 —
Ce qui conduit pour la dépense totale par mètre courant, à		16 536 francs.

D'où il résulte que dans des conditions normales de fondations, la dépense eût pu être réduite de près de moitié.

Il convient d'ailleurs d'ajouter que : même en considérant la totalité de la dépense du barrage de Poses, cet ouvrage a fourni une solution économique du problème qui était posé aux ingénieurs.

En effet, d'après les données résultant des travaux exécutés sur la Seine pour le mouillage de 3m,20, on ne peut estimer la dépense d'un barrage à moins de. . . . . 3 000 000 francs,
Celle d'une double écluse à moins de. . . . . 3 000 000 —
Et les dépenses accessoires à moins de. . . . . 1 000 000 —
Ce qui donne un total de. . . . . 7 000 000 francs.

Ce qui montre que le barrage de Poses ayant coûté en nombre rond 4 000 000 de francs, a permis, moyennant une dépense supplémentaire de 1 000 000, d'économiser les 7 000 000 de francs du barrage éclusé supprimé; il convient de noter en passant qu'il a en même temps dégrevé le budget public des dépenses de personnel et d'entretien de cet ouvrage, et évité pour la marine la perte de temps correspondant à une traversée d'écluse.

M. Cameré passe ensuite à un autre exemple qui lui permet de montrer que si le type du barrage de Poses est applicable même économiquement à de grands ouvrages, il l'est également à de plus modestes.

M. Turrettini, président du conseil administratif de la ville de Genève, vient en effet de fournir à l'orateur des renseignements sur un barrage de ce système, établi récemment dans cette ville, sur le Rhône, à la sortie du lac Léman.

Ce barrage a été mis en service le 11 juin 1887. Il présente une chute maximum de 3m,50 et y compris la passerelle à piétons qui lui sert d'appui,

il a coûté par mètre courant . . . . . 3262 francs

se décomposant comme suit :

Pont.	800 francs.
Barrage.	2462 —
Total.	3262 francs,

chiffre auquel il conviendrait toutefois d'ajouter une certaine somme pour tenir compte des batardeaux et épuisements exécutés pour d'autres travaux et dont le barrage a profité.

Depuis sa mise en service, ce barrage a donné pleine satisfaction à la ville de Genève, et, dans le courant de l'année dernière, il a préservé la ville de Seyssel d'un désastre imminent.

A la suite de pluies diluviennes, l'Arve et le Rhône étaient entrés en crue extraordinaire, et les eaux montaient d'une manière absolument inquiétante dans la ville.

Estimant que si l'on pouvait arrêter le flot du Rhône on éviterait une catastrophe, le maire de Seyssel télégraphia à M. Turrettini pour lui demander de fermer le barrage de Genève.

Ce dernier donna les ordres nécessaires, et à 8 heures du soir, quelques cadres seulement restant encore debout, on commença la fermeture du barrage, long de $45^m,30$. Cette manœuvre fut terminée à 11 heures avec une seule équipe.

Pendant la nuit le niveau du lac s'éleva de $0^m,30$.

A la suite du succès de cette manœuvre, le gouvernement français a obtenu du gouvernement suisse qu'à l'avenir on agirait de même toutes les fois que les inondations seraient à craindre à Seyssel.

On voit donc que le type du barrage de Poses qui fonctionne avec une grande régularité se prête à des applications variées.

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Pavie (voir ce rapport, page 191), qui renonce à la parole, estimant que la question des barrages mobiles a été épuisée au cours de l'intéressante discussion à laquelle ont pris part MM. Vernon-Harcourt, Boulé, Jacquelin et Cameré.

M. Lavollée demande alors la parole pour présenter quelques observations sur le rapport de M. Pavie, qui, en discutant les avantages et les inconvénients du système Chanoine, lui paraît avoir attribué à ces derniers une prépondérance que l'orateur ne considère pas comme entièrement justifiée par la pratique.

Certainement les organes de ce système ne sont pas aussi simples que les dispositions primitives des barrages Poirée ; sans aucun doute, leur fonctionnement nécessite de la part des barragistes des soins et une expérience que les aiguilles n'exigent pas, surtout quand elles sont de petites dimensions. Mais peut-on dire que les hausses Chanoine soient à tel point

compliquées, délicates, difficiles à manœuvrer, rebelles au règlement normal des biefs, exclusives de tout exhausement ultérieur, qu'on doive les proscrire, sauf dans des circonstances exceptionnelles?

M. Lavollée ne le croit pas et s'en réfère à cet égard aux résultats obtenus sur la haute Seine.

Cette partie du fleuve, située entre Montereau et Paris, a été canalisée au moyen de douze barrages dans lesquels toutes les passes navigables et une partie des déversoirs sont fermées par des hausses Chanoine.

Les hausses des passes ont des dimensions qui correspondent à une hauteur de retenue de $3^m,40$ et même de $4^m,10$ au pertuis de Port-à-l'Anglais. Si l'on excepte ce pertuis, toutes les passes sont manœuvrées sans passerelle, à l'aide du bateau; et cependant depuis 1871, époque à laquelle le régime de la canalisation a été régulièrement établi, l'on n'a éprouvé aucun accident ni aucun mécompte grave. Sur ces passes, les hausses, telles qu'elles existent aujourd'hui, ont leur axe aussi voisin que possible, non du centre de pression, mais du milieu de la hauteur; elles sont munies de vannes-papillons qui diminuent, quand elles sont ouvertes, l'effort de l'eau sur la volée; leur stabilité est toujours complète; au moment où on les relève, l'excès de pression sur la culasse est assez fort pour que la hausse se mette debout toute seule, dès que l'arc-boutant est dans son heurtoir; et c'est ainsi que le relèvement des quarante-deux hausses de la passe navigable de Port-à-l'Anglais s'opère en moins d'une heure et demie. L'abatage s'effectue sans encombre, si les barres à talons sont robustes; et au pertuis de Port-à-l'Anglais, notamment, où l'on a construit la barre dans de bonnes conditions de résistance, plus de cent manœuvres ont déjà été exécutées sans qu'une seule ait manqué.

Quant aux déversoirs du système Chanoine, avec passerelle à l'amont, on peut affirmer les services rendus par la facilité qu'ils apportent à l'écoulement des petites crues et à la régularisation des biefs. Les hausses peuvent en effet être toujours établies de façon à assurer un règlement naturel de la retenue, tant par la lame déversante que par une automobilité relative qui permet de disposer d'avance le barrage en prévision d'un mouvement déterminé. Il suffit, pour atteindre ce but, de tenir les hausses en bride par les chaînes fixées aux fermettes, en sorte qu'un éclusier averti le soir que l'eau doit monter pendant la nuit n'a qu'à lâcher quelques maillons de la chaîne de volée pour que le flot produise un basculement spontané et limité. Si c'est au contraire une baisse qui doit survenir, il n'y a qu'à tendre cette chaîne pour obtenir un déversoir aussi fixe qu'avec un rideau d'aiguilles.

Enfin l'expérience de la haute Seine a prouvé qu'en se maintenant dans les limites d'une dépense modérée, il était possible, et même aisé, d'exhausser les hausses Chanoine, sans chômage de la voie navigable, sans modification du radier, et par conséquent sans batardeaux ni épuisements. Les hausses des passes ont été en effet surélevées de $0^m,40$ dans neuf biefs,

et deux des barrages ont eu leurs déversoirs également transformés par un simple exhaussement; les frais de ces remaniements n'ont pas dépassé 630 francs au mètre courant; et les radiers, qui avaient été construits dans les conditions les plus économiques, de 1860 à 1865, ont résisté depuis vingt-cinq ans.

La manœuvre des barrages Chanoine est si peu précaire que, dès l'année 1875, 1 500 000 tonnes de marchandises circulaient entre Corbeil et Paris; et que le mouvement s'est élevé à 2 850 000 tonnes en 1887, après l'augmentation du tirant d'eau, porté de $1^m,60$ à 2 mètres. Le coût de premier établissement ne représente en outre que $0^f,00875$ par tonne kilométrique transportée en 1887; et ce résultat est la meilleure preuve du caractère pratique et du bon fonctionnement de ces barrages.

M. Lavollée tenait à rendre cet hommage à M. Chanoine dont le système, appliqué même à de grandes chutes, a aujourd'hui la sanction de l'expérience, non pas seulement en France, mais aussi en Amérique où les ingénieurs l'ont adopté de préférence à tout autre pour la canalisation de l'Ohio.

M. Pavie ne croyait pas avoir attaqué aussi vivement les barrages Chanoine, dont il n'a jamais contesté l'heureuse application sur la haute Seine où ils fonctionnent parfaitement, ce qui ne prouve pas cependant que le fonctionnement en soit partout aussi satisfaisant.

La question la plus intéressante est celle de l'exhaussement, qui, d'après M. Lavollée, a entraîné sur la Seine une dépense de 630 francs par mètre courant pour un relèvement du plan d'eau de $0^m,40$. Sur la Marne, où l'on a remplacé les vannes Chanoine par des aiguilles à crochets en relevant le plan d'eau de $0^m,50$, la dépense n'a pas dépassé 350 francs par mètre courant en moyenne, et 600 francs pour les passes profondes.

La comparaison de ces chiffres semble autoriser à conclure que l'exhaussement des barrages Chanoine établis sur la Seine a entraîné la réfection de leurs organes les plus importants et confirme, par conséquent, l'opinion émise sur ce point dans le rapport. D'une discussion entre M. Clerc et le rapporteur, il résulte que les hauteurs comparatives des barrages de Suresnes et de Poses, indiquées dans le rapport, s'appliquent, non à la retenue, mais au vannage, et que l'importance du personnel employé à la manœuvre est commandée par l'importance de la retenue en vue de laquelle le barrage a été établi.

Une discussion s'engage alors entre MM. Maurice Lévy, Lavollée et Barlatier de Mas, sur les conditions dans lesquelles s'effectuent actuellement les manœuvres des barrages Chanoine sur la haute Seine et les perfectionnements qu'elle a subis depuis quelques années.

M. Merrill termine la séance par un exposé des remarquables travaux qu'il a exécutés sur l'Ohio.

Aux États-Unis, quand on a voulu améliorer les rivières on a commencé par étudier les divers systèmes de barrages mobiles construits en France,

afin de déterminer l'espèce d'organes qu'on devait employer. Il n'était pas beaucoup question des déversoirs, mais on considérait comme indispensable d'avoir pour les passes navigables un système offrant de sérieuses garanties et à l'abri de tout accident. Si une crue arrivait subitement, on voulait être sûr que la passe navigable serait ouverte pour lui livrer passage. On a reconnu que deux systèmes seulement répondaient à ce programme : celui de M. Poirée et celui de M. Chanoine. C'est ce dernier auquel on s'est arrêté, parce qu'on a été effrayé du nombre des pièces qu'on est obligé de porter au magasin, pour un barrage de très grande longueur établi dans le système Poirée, et qu'on a craint, avec les crues très rapides auxquelles on est exposé, de n'avoir pas toujours le temps d'abattre les fermettes, car, dans ce cas, la navigation eût été interrompue, et c'était une éventualité qu'il était absolument impossible de risquer.

Le charbon est apporté à la Nouvelle-Orléans par des convois qui, dans la partie supérieure de la rivière, comprennent de dix à quinze bateaux; ces trains ont un toueur à l'arrière.

Obligé de prévoir une passe navigable très large au grand barrage de l'île Davis, M. Merrill avait décidé de lui donner une largeur de 400 pieds à l'époque où il comptait employer la barre à talons. Mais après avoir vu le système appliqué par M. Pasqueau au barrage de la Mulatière, l'orateur a trouvé qu'il y avait là un perfectionnement important, très avantageux dans les circonstances où il se trouvait placé. En supprimant la barre à talons, il est facile d'augmenter la largeur de la passe navigable; c'est ce qui a été fait, et actuellement celle du barrage de l'île Davis a une largeur de 559 pieds, qui sera bientôt portée à 700. Ce barrage a trois déversoirs, et il a été construit pour être manœuvré de trois façons différentes, c'est-à-dire du haut d'un pont de service, avec un buteur de manœuvre et par une grue roulante. On a reconnu immédiatement qu'il fallait renoncer à la manœuvre par grue roulante, rendue impossible par les dépôts de gravier. On a manœuvré le barrage avec un buteur de manœuvre Chanoine, mais la longueur du barrage rendait cette manœuvre très pénible pour les hommes. On a alors agrandi le buteur de manœuvre pour y placer une locomobile, et l'on manœuvre les hausses à la vapeur. C'est à ce système qu'on s'est définitivement arrêté; les ponts de service de deux des passes ont été en effet emportés par les crues et on a jugé inutile de les reconstruire.

La manœuvre des hausses au moyen d'un bateau a été d'ailleurs modifiée à la suite de l'expérience acquise l'année dernière. La rivière ayant été à deux reprises encombrée par les glaces, on a dû faire passer les bateaux de manœuvre par l'écluse à l'aval du barrage pour pousser les hausses vers l'amont, ce qui détermine nécessairement l'abatage dans le système Pasqueau, puisque l'arc-boutant n'est pas rapporté. Depuis cette époque on manœuvre le barrage de la manière suivante : pour le relever, le bateau de manœuvre est placé à l'amont, et on redresse les hausses en les tirant au moyen d'une corde qui passe sur des tambours actionnés par une ma-

chine à vapeur. En plaçant le bateau de manœuvre à l'aval, il suffit de renverser le mouvement pour pousser la hausse avec une barre de fer, dans ce cas elle s'abat doucement.

Cette expérience prouve que sur certaines rivières la manœuvre d'un barrage du système Chanoine-Pasqueau ne peut se faire avec un pont de service. Il faut alors recourir au buteur de manœuvre avec les dispositions que l'orateur a indiquées et qui ont parfaitement réussi.

M. Merrill ajoute que l'Ohio entraîne tant d'épaves et de corps flottants, même en basses eaux, qu'il est devenu nécessaire de construire une passe spéciale pour leur livrer passage. On construit en ce moment, au milieu du barrage, une passe de 52 pieds de longueur, qui sera fermée par des portes américaines comme celles de la Neuville. L'orateur espère en outre qu'une simple manœuvre de ces passes permettra de régler facilement la retenue du bief.

M. le Président demande si l'on n'a jamais trouvé sur les hausses des dépôts de gravier, susceptibles de gêner la manœuvre.

M. Merrill répond qu'on trouve beaucoup de gravier sur les hausses des déversoirs, mais que la chute créée par le relèvement des hausses de la passe navigable suffit pour les nettoyer, et que leur manœuvre ne présente plus alors de difficultés.

M. de Goldschmidt propose, avant de lever la séance, de faire exprimer à M. Bergère, victime d'un accident pendant l'excursion de la veille, les vœux de tous les membres pour son prochain rétablissement[1].

Cette motion est approuvée à l'unanimité et M. le Président lève la séance à 11 heures.

1. Dans l'excursion du 23 juillet, sur le canal de Saint-Maurice, M. Bergère ayant glissé sur le pont du bateau, mouillé par la pluie, était tombé si malheureusement qu'il s'était brisé la jambe. Transporté immédiatement à l'hôpital de Charenton, il avait pu recevoir les premiers soins avant le développement de l'inflammation. Quatre jours après il a pu être transporté dans sa famille à Melun, et sa guérison a suivi un cours régulier, sans complication. Il est aujourd'hui complètement rétabli.

QUATRIÈME SÉANCE

Mercredi 24 juillet.

La séance est ouverte à une heure et demie, sous la présidence de M. de Raeve.

L'ordre du jour appelle la discussion de la question des meilleurs modes de locomotion des bateaux sur les rivières à courant rapide, sur les rivières canalisées et sur les canaux, question que le rapporteur, M. Derome, a examinée au seul point de vue de la traction sur les canaux et les rivières canalisées assimilables aux canaux, en laissant entièrement de côté les rivières à courant rapide, comme le Rhône, et les rivières canalisées qui, comme la Seine, n'ont aucun rapport avec les canaux (voir son rapport, p. 207).

Le rapporteur développe les conclusions de son rapport, dont celles qui sont relatives à l'installation du halage funiculaire lui paraissent déjà très élucidées par les expériences auxquelles le Congrès a assisté la veille, et sur lesquelles M. Maurice Lévy pourra donner d'intéressants détails.

Il insiste sur l'organisation d'un service de halage par chevaux, conformément au décret du 19 juin 1875 ou au règlement du 1er juin 1855, sur tous les canaux qui font partie d'une grande ligne de navigation et où l'établissement de la traction funiculaire serait reconnue impraticable.

Le décret de 1875 a organisé sur certains canaux du Nord un service de traction par chevaux. Le halage y est adjugé à des entrepreneurs qui doivent fournir les chevaux dont la marine a besoin pour traîner les bateaux avec une vitesse de 2 kilomètres à l'heure. Ce système remédie aux inconvénients de la liberté du halage, qui arrivait à augmenter les prix de traction en produisant des encombrements.

En 1872, un bateau mettait plus de trois mois pour aller de Mons à Paris, et il y avait parfois en certains points de la voie navigable des amas de douze cents à quinze cents bateaux. On a alors mis le halage en adjudication, et ce système qui fonctionne très bien a réduit les frais de traction, au prix de 3 millimes 1/2 par tonne kilométrique.

Avec le règlement de 1855, il n'y avait pas d'adjudication du halage. Chaque année, les ingénieurs préparaient un projet de tarifs pour l'année

suivante. Les haleurs se faisaient inscrire dans les mairies pour prendre part au service, aux conditions du tarif arrêté par l'Administration et nommaient un syndic chargé de les faire marcher à tour de rôle.

C'est le système qui a fonctionné sur le canal de Saint-Quentin et sur toute la ligne de la Belgique vers Paris de 1855 à 1860.

Le décret de 1875 est préférable sur les grandes lignes de navigation, et le règlement de 1855 peut être appliqué sur des canaux d'une importance relativement moindre.

M. Derome estime qu'il est important pour les mariniers de savoir toujours où trouver des chevaux de halage et ce qu'ils devront les payer, et croit qu'il convient d'organiser un service de halage convenable.

M. Labrousse fait remarquer que beaucoup de mariniers ont leurs chevaux logés sur le bateau, et demande comment on pourrait concilier cet état de choses avec l'obligation.

M. Derome répond que s'il y avait un halage organisé, les bateliers s'empresseraient de ne plus avoir de chevaux sur leurs bateaux. D'une enquête qu'il a faite, il résulte que les mariniers ne marchent guère que deux cent quarante jours par an, par conséquent leurs chevaux ne font rien pendant cent vingt jours, et encore ce calcul ne tient pas compte du retour, qui se fait souvent à vide.

Dans la région de l'Est, dit M. Holtz, le tiers, peut-être même la moitié des bateaux ont leurs chevaux.

En 1887, répond M. Derome, le recensement a indiqué 7129 bateaux, dont 448 seulement avaient une écurie; 371 se trouvaient sur le canal de l'Est ou sur celui de la Marne au Rhin. Quand ces mariniers arrivent sur les canaux du Nord, ils s'empressent de mettre leurs chevaux en pension dans des fermes et les reprennent quelques mois après.

M. Holtz demande si le système de halage qui fonctionne sur le canal de Saint-Quentin serait compatible avec la possibilité de laisser les bateliers se servir de leurs chevaux.

M. Derome ne le croit pas, car il lui semble indispensable que l'entrepreneur puisse calculer à l'avance le bénéfice sur lequel il peut compter.

M. le président de Raeve fait connaître à ce sujet qu'en Belgique le monopole est limité à un canal très fréquenté où il fonctionne parfaitement; sur tous les autres canaux, il existe une liberté absolue qu'on ne songe pas à restreindre tant qu'il n'y a pas de plaintes.

M. Labrousse trouve qu'il y a quelque chose d'un peu tyrannique dans ce système d'obligation; on fait exception pour le bateau à vapeur parce qu'il a son moteur avec lui; le bateau qui a ses chevaux se trouve dans les mêmes conditions et doit pouvoir passer.

Le halage à bras est la solution la plus économique quand on doit franchir une série d'écluses. Sur le canal de la Néva au Volga, on trouve cinq écluses contiguës ; là ce sont les hommes qui sont les meilleurs haleurs, et

même les femmes, car les femmes ont beaucoup plus de puissance que les hommes quand il s'agit d'un travail intermittent.

M. Derome admet que le mode de traction pourrait être différent suivant la longueur des biefs, mais il estime que la traction funiculaire est plus avantageuse sur les petits biefs que sur les grands, car elle accélère le passage aux écluses.

L'emploi de la traction par remorqueur ou toueur a pour corollaire la marche par trains, la seule économique, mais il faut alors grouper au moins trois bateaux.

Trois bateaux supposent six passages qui, à raison de un quart d'heure par passage, exigent une heure et demie; pour gagner une heure et demie sur la longueur d'un bief, il faut que ce bief soit très long, ce qui est rare.

M. Maurice Lévy prend alors la parole pour fournir au Congrès quelques explications sur le halage funiculaire en général et d'une façon plus particulière sur le système examiné la veille et qu'il a imaginé.

La puissance ou capacité de trafic d'une voie de terre, c'est-à-dire le trafic maximum auquel elle peut annuellement livrer passage, est évidemment lié à la vitesse de marche des véhicules qui la parcourent.

Il n'en est pas de même pour une voie navigable ; *là, le trafic possible est absolument indépendant de la vitesse des bateaux*, il dépend d'un tout autre élément, et d'un seul, la durée de l'éclusage.

Si cette manœuvre dure un quart d'heure, il est évident qu'on ne pourra organiser plus de deux départs à l'heure à chaque extrémité de la voie. Si vite que marchent les bateaux, on n'en pourra pas faire partir un de plus sans qu'il se trouve indéfiniment arrêté à la première écluse rencontrée et, si lentement qu'ils marchent, cela n'obligera pas à en faire partir un de moins.

Ainsi donc deux départs à l'heure dans chaque sens, telle est, sans que la vitesse de marche puisse la modifier, la mesure du trafic maximum sur une voie navigable où l'éclusage demande un quart d'heure.

Si l'on peut gagner cinq minutes sur cette opération, le trafic possible se trouvera *ipso facto* et *sans aucune dépense* augmenté de 33 pour 100.

Or, l'éclusage d'un bateau comporte deux sortes d'opérations qu'il importe de bien distinguer : les unes dépendent de la structure plus ou moins parfaite de l'écluse, les autres sont indépendantes de l'écluse elle-même et résultent uniquement du mode de traction dont on dispose et du parti plus ou moins habile qu'on en tire ; c'est l'entrée et la sortie du bateau dans le sas. Or ce sont justement ces deux opérations qui sont les plus longues, et surtout la première, parce qu'elle comprend le stationnement du bateau devant l'écluse; c'est donc sur elle qu'il y a le plus de temps à gagner.

On peut dire par conséquent que de tous les modes de traction, celui-là doit être classé le premier comme utilisant le mieux possible le trafic d'un canal, qui abrège le plus possible le passage aux écluses. Le temps perdu

aux écluses est irrémédiablement perdu au point de vue du rendement possible de la voie, et constitue ainsi une destruction absolue du capital.

De plus, tandis que le bénéfice réalisé aux écluses ne coûte rien et constitue par suite un véritable accroissement de la richesse publique, le bénéfice relativement secondaire que l'on obtient par un gain de vitesse (meilleure utilisation et par suite réduction du matériel de transport) coûte cher, et plus cher sur les voies navigables que sur toutes les autres. En effet, sur les voies de terre, la traction croît linéairement avec la vitesse, et par suite le travail mécanique ou le charbon dépensé pour le réaliser croît comme le carré de la vitesse; sur les voies navigables au contraire, c'est la traction elle-même qui croît comme le carré de la vitesse et le travail mécanique ou la dépense de charbon croît comme le cube de la vitesse.

Tout le matériel des canaux a été fait pour marcher avec deux chevaux à une vitesse de 60 à 70 centimètres par seconde. On ne peut pas brusquement modifier cette vitesse. Si on adopte une vitesse de 1 mètre, c'est pour montrer sur une section relativement restreinte qu'on peut remorquer sur une section quatre ou cinq fois plus longue tous les bateaux qui peuvent se rencontrer sur un canal, quel qu'en soit le trafic.

Le meilleur mode de traction, le seul qui utilise la totalité de la capacité de trafic d'une voie navigable, n'est pas celui qui fera cheminer les bateaux avec une grande vitesse, mais celui qui les fera cheminer tous avec la même vitesse, de façon à les obliger à arriver aux écluses à intervalles absolument égaux et à leur éviter par là toute perte de temps aux abords des écluses, et qui assurera en même temps leur passage à travers les sas.

Or, si l'on passe en revue les modes de traction usités, il est facile de voir qu'aucun ne satisfait à ces conditions. Le halage funiculaire les remplit au contraire d'une façon parfaite, pourvu qu'il soit établi avec la *fixité des attaches* sur le câble. Le halage funiculaire consiste à avoir de distance en distance (tous les 40 kil. environ) des machines fixes motrices, chaque machine imprimant un mouvement continu à un câble sans fin. Le câble étant ainsi sans cesse en marche, il suffit que les bateaux s'y attachent en quelque lieu qu'ils stationnent pour être remorqués. Tout se passe comme s'il y avait des chevaux toujours prêts à marcher sur tous les points des rives. Mais si les bateaux pouvaient s'accrocher en tout point du câble ou si les bateliers étaient libres de laisser glisser le point d'attache, les irrégularités d'arrivée aux écluses seraient, à quelques atténuations près, les mêmes que dans le halage par chevaux; on n'atteindrait donc pas le maximum du trafic possible.

Mais il y a avec le halage funiculaire un moyen et un seul d'obtenir ce résultat. Il consiste à avoir des manilles d'attache régulièrement espacées et fixes sur le câble. L'espacement de ces manilles doit être tel que la distance entre deux manilles consécutives soit parcourue par le câble dans un temps égal à la durée d'un éclusage.

Si, pour prendre un exemple simple, on suppose que l'éclusage d'un bateau exige dix minutes et que le câble marche à une vitesse de 3 kilomètres à l'heure, les manilles devront être espacées de 500 mètres. Mais on ne devra atteler de bateaux que sur les manilles prises de deux en deux, de sorte qu'une moitié des manilles reste libre, car on aura alors le nombre maximum de bateaux pouvant être mis en circulation, c'est-à-dire qu'on utilisera la totalité de la puissance de la voie. Si, en effet, dans ces conditions, un bateau se présente à l'écluse, il sera éclusé en dix minutes. Pendant ce temps la manille libre qui suit celle où était attelé le bateau passera juste pour reprendre le bateau à sa sortie de l'écluse. En même temps se présentera à l'écluse un bateau marchant en sens contraire qui abandonnera sa manille pour se faire écluser sans arrêt et retrouver, aussitôt éclusé, la manille libre qui suit celle qu'il occupait. Chaque bateau recule ainsi d'une manille à chaque écluse; c'est pourquoi les manilles doivent être deux fois plus nombreuses que les bateaux.

Sans entrer dans des détails techniques qui seraient inutiles après la visite du Congrès et les explications qui lui ont été fournies au cours du voyage, M. Maurice Lévy considère le problème comme résolu, et il n'hésitera pas à entreprendre l'exploitation régulière de la voie navigable, aussitôt qu'il aura été autorisé à mettre le câble à la disposition du public. M. Derome a indiqué dans l'excellent rapport qui fait aujourd'hui l'objet de la discussion l'évaluation des dépenses d'installation et d'exploitation du système, dressée pour une section du service qui lui est confié, d'après les données qu'il avait bien voulu indiquer lui-même.

Sur cette section de 140 kilomètres où le trafic est énorme, l'exploitation, même en tenant compte dans la plus large mesure de tous les frais d'amortissement, laisserait encore un bénéfice annuel de 600 000 francs. En conservant le tarif actuel, on pourrait donc réduire, autant qu'on le jugerait nécessaire, les frais de traction, en sacrifiant une partie de ce bénéfice.

M. Maurice Lévy rend hommage en terminant au zèle et au dévouement de M. Pavie, dont il apprécie hautement la collaboration faite avec autant de cœur que d'intelligence.

M. Labrousse demande à l'orateur s'il s'est préoccupé de l'utilisation des chutes hydrauliques.

M. Maurice Lévy répond qu'il est évident qu'on utilisera les chutes hydrauliques partout où on le pourra, mais le problème n'est pas susceptible d'une solution générale, et dans bien des cas la machine à vapeur restera la solution la plus économique à laquelle on devra s'arrêter.

M. Mocquery fait remarquer que M. Derome n'a pas dit quel était le tonnage minimum nécessaire pour qu'il soit possible d'organiser un service de halage régulier.

M. Derome répond que, sur une voie navigable desservant un trafic de 300 000 tonnes, il lui semble possible d'organiser le halage d'une façon très régulière.

M. Mocquery estime que pour avoir un halage organisé d'une façon régulière il faut non seulement un tonnage d'une certaine importance mais encore régulier.

M. Derome ne le conteste pas et ajoute qu'on ne saurait admettre, par exemple, que le trafic minimum de 300 000 tonnes puisse se faire en un mois et qu'on n'ait rien à transporter pendant les onze autres mois de l'année.

M. Mocquery demande pourquoi le rapporteur n'a pas traité la question du halage mécanique sur les chemins de halage.

M. Derome n'en a pas parlé parce qu'il n'a jamais eu connaissance d'essais sérieux au moyen de locomotives routières.

M. Mocquery n'a pas entendu parler de ce système, mais bien d'essais faits avec des locomotives ordinaires analogues à celles des tramways circulant sur une voie de 50 centimètres environ de largeur. M. Derome a indiqué dans son rapport que ce système, essayé entre les Fontinettes et Douai avait abouti à une liquidation; il devrait en tous cas disparaître devant la traction funiculaire car il faut une locomotive avec son personnel pour traîner chaque bateau.

M. Peslin, prenant alors la parole, explique que les essais de halage par locomotives qui ont été faits sur les canaux du Nord ont eu lieu dans le service qui lui est confié entre les écluses des Fontinettes, près Saint-Omer et Douai. Les conditions paraissaient exceptionnellement favorables, 80 kilomètres de canaux en parfait état, comprenant deux grands biefs seulement, un des Fontinettes à Cuinchy, de 44 kilomètres, et l'autre de Cuinchy à Douai (fort de Scarpe) de 36 kilomètres. Dans le premier bief le trafic moyen est d'environ un million de tonnes; il est de deux millions dans le second bief.

La société concessionnaire du halage par locomotives dans cette section avait M. le baron Haussmann comme président du conseil d'administration et M. Fabre, ingénieur civil, comme directeur; elle n'avait pas de monopole et concurrençait librement les autres modes de halage qui consistaient :

1° En un service de touage sur chaîne noyée sur 15 kilomètres du second bief, entre Pont-à-Vendin et Douai ;

2° En un service libre de halage par chevaux qui n'a jamais cessé de fonctionner très activement sur tout le parcours entre les Fontinettes et Douai et d'enlever la plus grande partie des bateaux. Ce service était et est encore exercé par un grand nombre de petits propriétaires qui n'ont aucun lien les uns avec les autres et traitent librement avec les mariniers, à des prix très variables, suivant les saisons et les circonstances.

La Société Haussmann a posé sur le chemin de contre-halage une voie ferrée ordinaire de 1 mètre de largeur avec des rails de 15 kilogrammes. Elle disposait d'une quinzaine de petites locomotives de 12 à 15 tonnes qui halaient des rames de deux ou trois bateaux à la vitesse 2k.500 à

3 kilomètres à l'heure (c'est la vitesse ordinaire sur les canaux du Nord).

Les haleurs libres par chevaux ont fait à cette société une guerre acharnée; les prix par tonne et par kilomètre, qui varient ordinairement de 4 millimes à 4 millimes et demi, sont descendus à 3 millimes et demi, puis à 3 millimes et enfin à 2 millimes 7 dixièmes dans les derniers mois. La lutte a duré trois ou quatre ans dans ces conditions et s'est terminée par la liquidation de la Société Haussmann ; le matériel fixe et roulant a été vendu aux enchères par l'adjudicataire.

Par contre, l'entreprise de halage sur chaîne noyée entre Pont-à-Vendin et Douai n'a pas cessé de fonctionner depuis une dizaine d'années en concurrence avec le halage libre par chevaux; les prix sont sensiblement les mêmes (4 millimes environ) et un peu moins de la moitié des bateaux prennent le toueur.

L'opinion personnelle de l'orateur, résultant des faits qu'il vient d'indiquer, est que la liberté du halage doit être maintenue tant qu'il n'en résulte pas d'encombrements répétés et que ces encombrements ne se produisent, en général, que sur les canaux dont le trafic est voisin de la limite de capacité commerciale. Sur la Haute-Deûle, qui est un canal du type normal (10 à 12 mètres au plafond, $1^{m},80$ de tirant d'eau, écluses de 5 mètres sur $38^{m},50$ — bateaux de 250 à 300 tonnes), le trafic actuel qui approche de deux millions et demi de tonnes vers Douai s'accommode parfaitement de la liberté du halage.

La séance est levée à 3 heures.

CINQUIÈME SÉANCE

Jeudi 25 juillet.

La séance est ouverte à 9 heures du matin, sous la Présidence de M. de Raeve.

M. le Président fait connaître à la section que M. Pavie s'est rendu la veille à Saint-Maurice pour prendre des nouvelles de M. Bergère dont l'état, aussi satisfaisant que possible, permettra sans doute à bref délai de le transporter à Melun, dans sa famille.

Après différentes communications relatives à l'organisation des grandes excursions la parole est donnée à M. Barlatier de Mas pour une communication sur la forme et la construction des bateaux de navigation intérieure. Cette question se rattache étroitement au sujet traité dans le rapport de M. Derome et a été soulevée incidemment dans l'une des précédentes séances de la section.

La construction de ces bateaux, dit M. de Mas, se fait généralement encore sans aucun corps de doctrine, sans dessins, sans modèles, uniquement en vertu de traditions, de routines séculaires. On pourrait citer tel chantier appartenant à une compagnie de navigation importante d'où sortent des bateaux d'une exécution très soignée, mais sur lequel, au point de vue des formes, on chercherait vainement autre chose que quelques gabarits de proue et de poupe qui se perpétuent, sans modification sensible depuis une époque indéterminée.

Pour des embarcations plus fines, embarcations de plaisance, bateaux à vapeur (il est bien entendu qu'il n'est pas question ici des embarcations exécutées dans les grands ateliers de construction métallique), on commence, il est vrai, par faire un modèle, mais d'après une méthode bien peu scientifique. Chaque année le salon de peinture offre au moins un exemplaire du tableau suivant : un vieux marin, sous les yeux de son petit-fils émerveillé, taille, avec son couteau, un bateau dans un morceau de bois. Les modèles des bateaux ordinaires ne sont pas faits autrement. Seulement le morceau de bois dans lequel ils sont taillés, absolument de sentiment, est formé d'une série de lames superposées momentanément réunies ; en les détachant l'une de l'autre on a autant de sections horizontales du

bateau; quant aux formes des courbes on les relève avec de petites lames de plomb parfaitement flexibles. Les contours des sections horizontales et des courbes ainsi relevées sont tracés sur le papier et ensuite amplifiés dans la proportion voulue en craticulant.

Le respect des anciennes traditions en matière de construction de bateaux de navigation intérieure se retrouve, d'ailleurs, par tout pays. Un constructeur allemand en cite un exemple qui est tellement topique qu'il est à peine croyable et mérite d'être rapporté, au moins à titre de curiosité. Il paraît que sur l'Oder, il est d'usage, quand on cloue les bordages des bateaux sur les membrures, d'enfoncer les clous, non pas du dehors en dedans, mais du dedans en dehors. C'est absolument irrationnel, mais cela s'est toujours fait et cela continue à se faire.

Dans cet état de choses, l'orateur a pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de signaler au Congrès la publication d'un ouvrage qui vient de paraître, probablement du premier ouvrage qui ait paru, sur la construction des bateaux destinés à la navigation intérieure.

Il est dû à M. Théodore Klepsch, maître de construction de bateaux à Francfort-sur-l'Oder. Son titre exact, en Français, est le suivant :

« La construction des bateaux fluviaux et leur exécution en bois, en fer et en fer et bois combinés ».

Les principales divisions de la table des matières dont les titres suffisent pour donner une idée du plan de l'ouvrage sont les suivantes :

A. Introduction ;
B. Préliminaires de la construction des bateaux ;
C. La construction des bateaux en bois ;
D. La construction des bateaux en fer ;
E. La construction des bateaux en fer et bois combinés ;
F. La chaloupe ;
G. Le centre de gravité.

Il n'y a pas longtemps que le traité de M. Klepsch est entre les mains de l'orateur ; la traduction en est très laborieuse, à raison du grand nombre de termes techniques, de termes locaux même, dont les équivalents en français sont extrêmement difficiles à trouver ; elle est donc bien loin d'être terminée. Toutefois elle est complète en ce qui concerne les deux premiers chapitres et le dernier, ceux qui ayant trait à la forme des bateaux abordent la partie entièrement neuve de la question.

M. Klepsch énonce les conditions essentielles auxquelles doit satisfaire un bon bateau pour la navigation fluviale.

1° Il doit gouverner aussi facilement que possible, parce qu'il existe entre l'obéissance au gouvernail et la marche une étroite relation et que ce sont précisément ces qualités qui ont la plus grande influence sur la question vitale de la navigation, celle des frais d'exploitation.

2° Il doit avoir à vide le moindre tirant d'eau possible, ce qui ne peut être obtenu, en tenant compte de la condition précédente, que par la

formé la meilleure combinée avec la distribution logique des matériaux de construction.

3° Il doit être assez résistant pour supporter la pression de l'eau sans déformation même en cas de chargement irrégulier ; il ne doit pas davantage subir de déformation sous l'action de la force motrice, voile, machine à vapeur, câble de remorque ; il doit être en état de supporter sans avarie grave des chocs relativement forts contre des objets fixes.

4° Il doit joindre à une forme élégante une exécution soignée.

5° Le prix de revient du bateau doit être dans un rapport avantageux avec son rendement.

Aucun des membres de l'assemblée ne refusera sans doute son assentiment aux termes très généraux d'ailleurs, de ce programme.

Pour satisfaire aux diverses conditions qui y sont énoncées, l'auteur estime que le bateau, de forme prismatique dans sa partie médiane, doit se terminer, aussi bien à l'arrière qu'à l'avant, par des surfaces se rapprochant de l'ellipsoïde ou du paraboloïde, ou, pour prendre une image vulgaire, en forme de cuillère.

Sans entrer dans plus de détails, il suffira de dire que M. Klepsch donne une méthode et des règles pratiques pour établir complètement les épures du bateau et de ses différentes parties. Il donne isolément divers procédés pour déterminer le déplacement du bateau d'après son enfoncement et réciproquement. Enfin il établit un métré complet, qui, en faisant application des prix unitaires, permet de calculer le prix de revient et en appliquant les poids spécifiques donne le poids de la coque. En ajoutant le poids du gréement à celui de la coque, on a le poids mort ; en retranchant le poids mort du déplacement au maximum d'enfoncement, on a la jauge.

En résumé, M. Klepsch donne les règles pour établir le projet d'un bateau d'une manière rationnelle et complète, comme nous sommes habitués à établir les projets de tous nos ouvrages.

L'orateur aborde ensuite un ordre de considérations qu'il considère comme particulièrement important. Si l'on suppose un bateau immergé jusqu'à la ligne de flottaison à pleine charge, en multipliant la surface mouillée du maître-couple par la longueur de la partie de la coque immergée on a le volume d'un cylindre circonscrit à cette partie de coque. Si on divise le déplacement réel par ledit volume, le quotient sera plus petit que l'unité.

Ce quotient qu'il appelle « coefficient de déplacement » est, pour M. Klepsch, caractéristique de la valeur d'un bateau. Plus le coefficient de déplacement sera élevé, plus le bateau aura de capacité, et moins le poids mort aura d'importance relative ; mais aussi plus le bateau offrira de résistance au mouvement, moins il aura de vitesse et de facilité à gouverner, ces deux qualités étant, selon lui, corrélatives.

M. Klepsch considère comme pleinement satisfaisant un coefficient de

déplacement qui ne descend pas au-dessous de 0,80; cela donne une idée de l'importance du sacrifice que les constructeurs allemands jugent à propos de faire à la forme.

Il serait fort intéressant d'avoir le « coefficient de déplacement » des divers types de bateaux qui circulent sur les voies navigables en France. Pour le type classique, la péniche flamande, il se rapproche évidemment beaucoup de l'unité. Pour les flûtes de l'Yonne qui ont cependant plus de prétentions à la forme, il résulte d'un calcul sommaire que le coefficient dépasserait encore 0,94.

Sans doute il y a lieu de rappeler ici un point capital qu'il est essentiel de ne jamais perdre de vue lorsqu'on veut comparer les choses de la navigation intérieure en Allemagne et en France. En Allemagne, le cours d'eau naturel est la règle, la voie navigable artificielle est l'exception ; en France, c'est tout le contraire. En Allemagne, on a pour la fixation de la longueur et de la largeur des bateaux une latitude que l'obligation de passer par des écluses ne laisse généralement pas en France ; par contre, en France, on navigue beaucoup plus en eaux tranquilles et la question des formes a, par là même, moins d'importance.

Quoi qu'il en soit, l'opinion personnelle de M. de Mas est qu'en France, le sacrifice fait à la forme est insuffisant, même pour les bateaux de canaux. Ce qu'on gagne en capacité est plus que compensé par l'accroissement de résistance à la traction, sans compter les inconvénients d'ordre supérieur.

M. Lévy a très nettement expliqué dans la dernière séance que la puissance de trafic d'un canal était limitée par le temps perdu aux écluses et que la plus grande partie de ce temps était absorbée par l'entrée du bateau dans l'écluse et par sa sortie. Sans doute, un système de traction bien entendu, comme le système funiculaire, peut faciliter et par conséquent accélérer l'entrée et la sortie du bateau, mais l'amélioration de ses formes n'y contribuerait pas moins.

M. de Mas croit donc qu'il est d'un haut intérêt et il exprime le vœu que tous ceux qui en ont le temps et l'occasion, ingénieurs, armateurs, constructeurs, réunissent leurs efforts pour résoudre cette question qui est d'ailleurs absolument inexplorée : « Quelle est la meilleure forme à donner aux divers types d'embarcations pour la navigation intérieure? »

C'est à dessein que l'orateur a dit « les divers types d'embarcations ». L'unification absolue des dimensions et des conditions de navigabilité du réseau est en effet une utopie, et dans bien des cas il y aura avantage à appliquer sur certaines sections dudit réseau les types d'embarcations qui leur conviennent le mieux. Sans doute le transbordement est, en principe, un inconvénient dont il faut se garer; mais il se traduit, en définitive, par une question d'argent. Si la crainte du transbordement est le commencement de la sagesse, il n'en est sans doute pas le dernier mot.

M. l'inspecteur général Jacquet exposait l'autre jour que, selon lui, l'avenir de la navigation du Rhône était dans l'emploi exclusif, avec trans-

bordement à Lyon, d'un matériel spécial satisfaisant aussi complètement que possible aux exigences de cette navigation si difficile. La proposition paraît tout à fait judicieuse à l'orateur. La distance de Lyon à la Tour-Saint-Louis est de 320 kilomètres; il suffirait d'une économie d'un millime par tonne et par kilomètre sur les frais de transport pour produire un total de $0^{f},32$ que n'atteindrait sans doute pas, dans la plupart des cas, le prix du transbordement à Lyon, si cette opération prévue à l'avance, se faisait dans les conditions convenables. Or, il semble évident *a priori* que l'adoption du matériel en question devrait produire une économie supérieure à celle indiquée plus haut.

Voici d'ailleurs un fait à l'appui de cette thèse. La compagnie de navigation du Havre à Paris et à Lyon fait le transport des fortes parties de grains à prendre au Havre ou à Rouen et à rendre à la distillerie de Roche, au delà de Besançon, sur le canal du Rhône au Rhin. Généralement ces grains sont amenés à Paris sur des chalands de 600 à 800 tonnes et transbordés là sur les bateaux de 250 à 300 tonneaux qui circulent sur les rivières canalisées et les canaux en amont de Paris. Ces derniers pourraient très bien se rendre à Rouen, ou au Havre, par le canal de Tancarville, mais la compagnie trouve à employer de grands chalands jusqu'à Paris, une économie supérieure au coût du transbordement dans cette dernière ville.

Si pouvant ne pas transborder, la marine se décide dans certains cas à le faire, c'est que dans certains cas il y a avantage à transborder. Aussi l'orateur considérerait comme rationnel, d'employer successivement, sur la ligne de la Manche à la Méditerranée, trois matériels : un spécial de la mer à Paris, pour profiter du mouillage de $3^{m},20$, le matériel ordinaire entre Paris et Lyon, et un autre matériel spécial entre Lyon et la mer pour satisfaire au mieux aux exigences de la navigation du Rhône.

M. de Mas termine donc sa communication en exprimant cette pensée, que le but des recherches proposées doit être la meilleure forme à donner *aux divers types d'embarcations* à employer pour la navigation intérieure.

L'assemblée se rallie tout entière aux conclusions de l'orateur.

M. Peslin s'associe pleinement aux observations présentées par M. de Mas sur la forme déplorable, et de plus en plus déplorable, qui est donnée par les constructeurs aux bateaux, sur la demande des bateliers.

Dans la région du nord, l'augmentation de capacité du bateau prime toute autre considération, d'une manière absolue, et les constructeurs arrivent à faire de véritables tours de force pour se rapprocher d'un parallélépipède rectangulaire ayant des parois aussi légères que possible.

Une des raisons principales qui maintiennent les bateliers et, par suite, les constructeurs de bateaux dans ces errements fâcheux, est qu'avec le halage tel qu'il est organisé sur les voies navigables les plus fréquentées du réseau du nord, le batelier n'a aucun avantage à ce que son bateau ait des formes nautiques.

D'abord il paye la traction au tonneau, suivant un tarif réglé administrativement, et quant à la différence de vitesse, les biefs sont en général trop courts pour qu'un bateau à formes nautiques puisse trémater un bateau parallélépipède entre une écluse et la suivante.

M. Boulé fait remarquer que la question soulevée relativement à la forme des bateaux se pose aussi bien pour le touage que pour le halage. Les compagnies de touage ne traînent que des bateaux qui ont une mauvaise forme, les autres ayant intérêt à se faire remorquer.

M. Derome dit qu'il reconnaît l'inconvénient du halage organisé signalé par M. Peslin et fait connaître que déjà, en 1882, il a, de concert avec M. l'Inspecteur général Robaglia, proposé pour y remédier, d'inscrire sur le procès-verbal de jaugeage de chaque bateau un coefficient de traction, mesuré expérimentalement, et qui servirait de base à la perception des droits de halage.

M. Peslin s'associe entièrement à cette observation.

M. le Président fait remarquer qu'en applaudissant les conclusions de la communication de M. de Mas, l'assemblée a voulu l'engager à continuer la tâche qu'il a entreprise en traduisant l'ouvrage de M. Klepsch. Avant de revenir sur les questions déjà traitées, comme le demandent quelques orateurs, il propose à la section de terminer son ordre du jour et donne la parole à M. Cadart, pour développer son rapport sur les élévateurs et plans inclinés pour bateaux (voir ce rapport, page 243).

Les conclusions auxquelles conduit le rapport de M. Dufourny (voir ce rapport, page 225) sur les élévateurs pour bateaux de canaux peuvent, dit M. Cadart, se résumer ainsi :

1° Les projets qui viennent d'être préparés, pour les trois grandes chutes restant à racheter sur le canal du Centre belge, par les Ingénieurs des ponts et chaussées de ce pays, en profitant de toute l'expérience acquise tant aux Fontinettes qu'à la Louvière, résolvent d'une manière complète et aussi parfaite que possible, dans l'état actuel des connaissances, la question du transport des bateaux de canaux d'un bief à un autre, lorsque les biefs sont séparés par une dénivellation importante, et ils la résolvent en faveur des ascenseurs à presses hydrauliques.

2° La solution, si elle est complète, tout au moins en ce qui concerne le principe de l'appareil, est encore très onéreuse et désormais, tous les efforts, toutes les recherches des ingénieurs doivent tendre à rendre le système moins coûteux. — Cette solution est aussi en quelque sorte surabondante, en ce sens qu'elle offre aux bateaux un double passage, qu'elle est l'équivalent de deux écluses accolées latéralement et non celui d'une écluse simple.

Du rapprochement de ces deux dernières idées, il résulte certainement que M. Dufourny estime que, sur la grande majorité des canaux futurs, à trafic modéré, où il ne sera établi que des écluses simples, les canaux à écluses doubles étant une très rare exception, un ascenseur ne présentant

qu'un seul sas par chute sera suffisant. Il semble dès lors rationnel de chercher dans cette simplification de l'ascenseur, dans sa réduction à un seul sas par chute, l'économie considérable qu'il est nécessaire de réaliser pour en faire un appareil qui puisse être couramment adopté à l'avenir, dans les parties montagneuses et difficiles qu'auront à traverser quelques-uns des canaux futurs.

Ces deux conclusions, tirées par M. Dufourny des résultats obtenus de l'expérience acquise sont très sensiblement les mêmes que celles auxquelles l'orateur est arrivé dans son rapport par des considérations théoriques, les seules qu'il lui fût possible d'invoquer sans courir le risque de faire double emploi avec le rapport de M. Dufourny; mais elles empruntent une autorité bien plus grande aux faits d'expérience sur lesquels s'appuie cet ingénieur, les conclusions résultant de la pratique ayant toujours, en pareille matière, bien plus d'autorité que celles qui ne sont déduites que de considérations théoriques.

La première des conclusions du rapport de M. Cadart est, en effet, celle-ci :

« Parmi les nombreux appareils qui ont été proposés pour faire franchir « de grandes chutes aux bateaux de trois à quatre cents tonnes sur les « canaux de navigation, ascenseurs hydrauliques flottants, aériens ou « funiculaires, plans inclinés, divers systèmes mixtes tels que celui de « M. Gonin qui tient à la fois des appareils hydrauliques par ses presses « et du plan incliné par son sas roulant, les ascenseurs hydrauliques « doivent être particulièrement recommandés *lorsque les circonstances* « *locales permettent d'adopter* INDISTINCTEMENT *tous les systèmes.* »

Cette dernière restriction est nécessaire, car il peut se présenter de nombreux cas particuliers, dans lesquels l'adoption d'ascenseurs hydrauliques soit difficile ou presque impossible.

Au canal du Centre Français, par exemple, l'adoption d'élévateurs verticaux était, paraît-il, inacceptable, et c'est à ce cas particulier que nous devons la production des belles et intéressantes études de MM. Gonin et Huc-Mazelet.

Dans les questions de rectifications partielles de canaux existants, la solution dépendra généralement des dispositions locales.

Lorsqu'il s'agira de canaux nouveaux, les ingénieurs, maîtres du tracé, pourront le plus souvent le disposer de manière à rendre également possible l'adoption des divers systèmes. Ici encore, il se présentera cependant quelquefois, bien que plus rarement, des cas particuliers où la disposition du terrain, l'importance excessive de la hauteur de chute, la difficulté de fractionner cette chute en deux parties égales suffisamment rapprochées l'une de l'autre, ne permettront pas d'établir dans de bonnes conditions des ascenseurs hydrauliques.

Tous ces cas particuliers doivent nécessairement être laissés de côté dans une discussion de la nature de celles qui peuvent être ouvertes

devant le Congrès, puisqu'ils comporteront chacun une solution spéciale, et il doit être entendu que les considérations générales développées dans la première partie du rapport ne peuvent s'appliquer qu'au cas où l'adoption de tous les systèmes est indistinctement permise par les dispositions locales.

Dans la comparaison établie entre les divers systèmes, l'orateur a laissé volontairement de côté deux éléments qui lui ont paru être absolument indépendants du principe même de l'élévateur, savoir : 1° les portes et leurs appareils de manœuvre et 2° la durée de la sassée.

Le système de portes du sas et des appareils de manœuvre de ces portes et de celles des biefs qui sera reconnu le meilleur, pourra en effet, être employé aussi bien dans les sas de plans inclinés et des ascenseurs flottants, par exemple, que dans ceux des ascenseurs hydrauliques.

Les éléments principaux de la durée de la sassée, qui sont le temps de l'entrée et de la sortie des bateaux et celui de la manœuvre des portes, sont indépendants du principe même de l'appareil; quant à la durée du mouvement des sas, qui est le seul élément de la durée totale de la sassée qui doive différer avec le système employé, elle est très à peu près la même dans tous les systèmes proposés, et elle ne constitue d'ailleurs que la plus petite partie de la durée d'ensemble de la sassée.

La comparaison ne porte donc que sur les cinq points suivants :

1° Répartition du poids du sas mobile sur les appuis et maintien de l'horizontalité du sas;

2° Sécurité;

3° Consommation d'eau ou de force motrice;

4° Simplicité, rusticité, facilité d'entretien et de manœuvre;

5° Dépenses d'établissement et d'entretien.

Cette comparaison a conduit à cette conclusion, que, abstraction faite toujours des circonstances locales et exception faite pour les chutes excessives qui paraissent ne pouvoir être franchies que par des plans inclinés, les ascenseurs flottants et les ascenseurs sur presses hydrauliques, et ces derniers tout spécialement, doivent être particulièrement recommandés.

En dehors des cinq aspects sous lesquels la comparaison a été envisagée, il en est un sixième que l'orateur n'a pas abordé dans son rapport, parce qu'il n'a rien de technique, mais qui cependant a bien sa valeur.

On n'est arrivé à des appareils aussi parfaits que ceux qui vont être construits sur le canal du Centre belge qu'après beaucoup de perfectionnements successifs, d'insuccès partiels, de retouches de détail.

On est certain aujourd'hui, en profitant de l'expérience acquise, de construire du premier coup un appareil qui fonctionnera bien si l'on adopte des ascenseurs hydrauliques; si l'on choisit, au contraire, un appareil d'un autre système, il faudra passer à nouveau pendant plusieurs années par une période de tâtonnements et courir le risque d'in-

succès partiels, tout au moins sur quelques points de détail. Dans ces conditions, il est fort peu probable qu'il se trouve un État ou une compagnie qui soit disposée à avancer des capitaux considérables pour faire l'essai d'un système qui n'a pas encore fait ses preuves, alors qu'il a sous la main un appareil qui lui assure un succès certain et immédiat.

Cela amène naturellement l'orateur à aborder la seconde partie de son rapport.

Une économie fort importante peut être réalisée en ne plaçant qu'un seul sas à chaque chute. On peut y arriver soit par l'adoption du sas flottant de M. Seyrig dans lequel l'équilibre est obtenu sans le secours d'un second sas, soit par une modification de l'ascenseur hydraulique, imaginée par MM. Clark, qui consiste à fractionner la chute totale en deux chutes partielles, rigoureusement égales, séparées par un bief court, à n'établir à chaque chute partielle qu'un seul sas et à accoupler ensemble les presses des deux chutes, la conduite de communication courant sur toute la longueur du bief intermédiaire.

Cette combinaison permet, à la condition que les deux chutes partielles soient assez voisines, de réaliser une économie considérable, puisqu'une économie de moitié est faite sur l'ensemble des presses des puits et des sas des deux chutes, une économie de près de moitié sur les guidages, et une économie qui, sans être de la moitié, est encore importante sur les terrassements et les maçonneries, et que le seul surcroît de dépense à mettre en regard de toutes ces économies est le coût de la conduite d'accouplement.

Ce qui vient d'être dit, touchant la convenance de n'adopter à l'avenir qu'un appareil ayant déjà fait ses preuves, conduit naturellement à donner, parmi les deux moyens de réaliser des ascenseurs à un seul sas par chute, la préférence à l'ascenseur hydraulique sur l'ascenseur flottant.

Il faut toutefois reconnaître que si le problème de l'ascenseur hydraulique est entièrement résolu dans le cas de deux sas par chute, il ne l'est pas encore tout à fait dans le cas d'un sas unique ; mais l'orateur pense qu'il est bien près de l'être et que les études des hommes compétents doivent tendre à achever d'en élaborer la solution. C'est là l'objet de la seconde conclusion de son rapport et il y a, croit-il, grand intérêt à préciser devant le Congrès ce qui reste à étudier pour rendre réalisable l'ascenseur hydraulique à un seul sas par chute.

Dans les ascenseurs hydrauliques à deux sas accolés, la conduite d'accouplement n'a que quelques mètres de longueur et elle peut, sans inconvénient, ne recevoir qu'un petit diamètre, le frottement de l'eau dans la conduite étant toujours peu important, en raison même de cette faible longueur. On peut dès lors construire la conduite dans des conditions de sécurité et d'étanchéité égales à celles de la presse, ainsi qu'on la fait à la Louvière, et il n'y a pas lieu de compliquer les dispositifs des presses dans le but d'assurer leur sécurité, nonobstant tout accident à la conduite d'ac-

couplement, puisqu'un tel accident est aussi peu probable qu'un accident aux presses elles-mêmes.

Dans les ascenseurs hydrauliques à sas unique par chute, la conduite d'accouplement a une longueur assez considérable et elle doit avoir un grand diamètre pour ne donner lieu qu'à des frottements modérés, un diamètre d'autant plus grand que la conduite est plus longue. Elle doit néanmoins être établie économiquement, sinon le but poursuivi ne serait pas atteint. On ne peut songer, dans ces conditions, à la construire comme à la Louvière, en cylindres d'acier forés après coup, comme des canons; on doit se contenter d'une conduite économique analogue à celle des canalisations d'eau comprimée des grands ports de mer, et une telle conduite ne présente pas des garanties de sécurité et d'étanchéité du même ordre que celles offertes par les presses elles-mêmes. Il devient donc nécessaire d'assurer la sécurité absolue des sas, dans les ascenseurs hydrauliques à sas unique par chute, indépendamment de toute fuite et de tout accident possible à la conduite d'accouplement. Tel est le seul problème nouveau que soulève la question de l'aménagement des ascenseurs à sas unique.

La solution de ce problème n'est pas encore acquise, mais des propositions ont été faites par divers ingénieurs et les idées qu'ils ont émises méritent d'attirer l'attention.

Ces idées, au nombre de cinq, sont exposées dans la seconde partie du rapport auquel M. Cadart se réfère pour leur description (voir page 263).

A son avis, parmi les cinq dispositifs proposés, il en est deux, le tampon d'inertie et l'articulation du sas sur la tête du plongeur, qui en est le corollaire, dont les chances de succès peuvent être discutées et contestées. On peut se demander, étant donnée l'énorme réduction de la section d'écoulement que comporte un tampon d'inertie pour être efficace, section qui ne doit plus se composer à l'extrémité inférieure que de cannelures très peu profondes, si la plus petite impureté, le moindre grain de sable en suspension dans l'eau ne compromettra pas le fonctionnement du tampon. — On peut se demander aussi si le parallélisme entre le guidage extérieur et l'axe de la presse peut être réalisé avec une perfection telle que, d'une part, le plongeur, guidé à la fois en haut par le presse-étoupes et à son pied par le tampon lorsque, en cas d'accident, il y a pénétré, et, d'autre part, les guides restent en parfaite concordance, et c'est principalement la crainte que cette perfection du parallélisme ne puisse être réalisée et maintenue, qui a fait proposer l'articulation du sas sur le plongeur en même temps que l'adaptation d'un tampon d'inertie au fond de la presse.

Cette articulation est-elle susceptible de fonctionner dans de bonnes conditions si on lui donne une disposition convenablement appropriée! C'est là un second point douteux. Il est vivement à désirer que des avis soient exprimés sur ces questions.

Mais, en revanche, le succès des trois autres dispositifs proposés ne paraît pouvoir faire de doute.

L'étranglement de la conduite à son point de pénétration dans la presse, imaginé par M. Bassères, la mise en communication des accumulateurs de chaque chute avec la conduite un instant avant l'ouverture de chacun des robinets de communication établis aux extrémités de la conduite sont des dispositifs tellement simples que leur efficacité paraît certaine. La soupape automatique de feu M. Barret est un appareil qui a fait ses preuves dans des conduites sous pression analogues à celle des ascenseurs et son succès, qui d'ailleurs pourrait être vérifié encore par des essais préalables, ne paraît pas non plus douteux. Ces trois derniers dispositifs, si leur fonctionnement est certain, suffiront vraisemblablement à assurer la sécurité des sas d'une manière tout à fait indépendante de la conduite d'accouplement, et les deux autres, que l'orateur a tenu néanmoins à citer dans son rapport pour être complet, pourraient peut-être être laissés de côté comme superflus pour peu que leur fonctionnement paraisse aléatoire.

Il semble donc que dans l'état actuel des connaissances on peut aborder sans grande crainte d'insuccès la construction d'ascenseurs hydrauliques à sas unique.

M. Dufourny prend alors la parole et constate qu'après avoir fait l'exposé des divers systèmes imaginés pour racheter les fortes chutes dans la construction des canaux, M. Cadart est arrivé à cette conclusion, dont l'orateur se déclare très satisfait, c'est qu'il existe entre eux un accord parfait sur les desiderata à réaliser dans la construction des ascenseurs hydrauliques.

Et en effet cet accord existe sur le point le plus essentiel et le plus important. L'un et l'autre veulent simplifier les appareils existants, les rendre plus pratiques, moins coûteux et de la sorte étendre leur emploi et multiplier leurs cas d'application.

M. Cadart pense que, dans ce but, il faut mettre en pratique une idée ingénieuse imaginée par M. Clark et qui consiste à supprimer les sas jumeaux des ascenseurs et à les remplacer par des sas uniques continuant à se faire équilibre deux à deux. Seulement, comme ces sas sont espacés par toute la longueur d'un bief, il faut relier les presses de support par une longue conduite de grande dimension et à haute pression.

Là, précisément, est la difficulté et de là aussi naît une sujétion grave pour la navigation, puisque la manœuvre des sas placés à l'extrémité d'un bief doit être simultanée, ce qui rend ce bief tout entier solidaire à la fois du sas d'amont et du sas d'aval et l'expose à chômer en cas de réparation d'un de ces sas.

M. Cadart a indiqué plusieurs moyens de parer à ces difficultés et d'en réduire les conséquences. En creusant la question, on peut arriver encore à des perfectionnements; l'étude et la pratique peuvent améliorer le système et le rendre d'une bonne application; mais si l'orateur a cru devoir insister sur les difficultés du problème, c'est que l'honorable rapporteur

lui a paru un peu absolu, un peu exclusif, en déclarant que le système à presses hydrauliques et à sas équilibrés est le seul possible, le seul exempt de tâtonnements et d'incertitude.

Ce système est entré dans le domaine de la pratique, il a fait ses preuves, il est sanctionné par l'expérience, du moins quand il s'agit d'ascenseurs à sas jumeaux, et le succès, comme le fait accompli, ont une force considérable.

Mais est-ce à dire qu'en appliquant à une autre solution la somme énorme d'étude et de savoir que l'on a concentrée sur la question des ascenseurs, on ne puisse arriver à une solution? L'orateur n'oserait se prononcer pour la négative, ni exclure, par exemple, le système d'ascenseurs à sas unique supporté par des flotteurs, dont a parlé M. Cadart dans son rapport.

Un projet d'ascenseur flottant imaginé en 1878 par M. Maus, directeur général des ponts et chaussées en Belgique, étudié ensuite dans tous ses détails par M. Seyrig a été soumis au gouvernement belge, avec devis à l'appui et contrat en due forme, par la maison Valentin de Willebrœck. En Allemagne, l'usine Gruson de Magdebourg a repris l'idée en 1885 et l'a modifiée en changeant simplement la disposition des flotteurs. Elle a fait un projet complet d'élévateurs pour bateaux de 1000 tonnes et s'est engagée à construire l'appareil à forfait et pour un prix parfaitement déterminé.

De puissantes sociétés métallurgiques, s'appuyant sur l'autorité et le savoir d'ingénieurs éminents, ont donc reconnu l'idée pratique, et non pas seulement d'une manière platonique, mais au point d'engager leurs finances et de souscrire des engagements et des contrats à forfait. La construction d'ascenseurs flottants ne me paraît donc pas impossible.

La voie du progrès est largement ouverte, et les ressources dont dispose l'art de l'ingénieur sont bien nombreuses encore pour augmenter et accroître le vaste domaine déjà acquis.

Il n'est pas du reste que la suppression d'un sas pour réduire le coût des ascenseurs, on peut arriver à ce but en multipliant les appuis.

L'appui unique est coûteux et la presse centrale paraît bien près d'avoir atteint sa limite d'emploi lorsqu'elle s'applique à soulever des sas de 1000 tonnes. On ne peut guère espérer aller au delà de 2 mètres pour le diamètre des presses. C'est une limite pratique pour de fortes pressions et si l'on voulait aller plus loin on serait d'ailleurs arrêté par la pression sur le sol de fondation qui atteint déjà, à la Louvière et aux Fontinettes, 15 à 20 kilogrammes.

En multipliant les presses on réduit les porte-à-faux des sas, le poids des charpentes métalliques, les diamètres des presses et des pistons, les difficultés d'exécution, et l'on répartit sur le sol le poids total de la construction d'une façon rationnelle, au lieu de concentrer ce poids sur un seul point.

La conjugaison des presses multiples et l'exécution simultanée d'un guidage soigné et solide donnent à beaucoup d'égards plus de sécurité que l'emploi d'une presse unique.

L'orateur a indiqué dans son rapport d'autres économies encore à réaliser dans la construction des ascenseurs, et l'une d'elles consiste à atteindre la limite de hauteur possible entre deux biefs successifs. On peut en effet réduire le nombre des appareils en augmentant cette hauteur.

L'exposé qui précède lui permet donc de déclarer à nouveau, et d'accord avec M. Cadart, que la science de la construction des ascenseurs n'a pas dit son dernier mot et que l'avenir dans cette matière réserve bien des améliorations à poursuivre et des économies à réaliser.

M. le Président croit utile d'ajouter un mot pour terminer la discussion. Il fait observer que les ascenseurs du canal du Centre Belge seront espacés de 3 à 4 kilomètres. La solution préconisée par M. Cadart implique donc la nécessité de relier les presses des ascenseurs à sas unique au moyen d'une conduite de 2 mètres de diamètre, résistant à une pression de 40 à 50 atmosphères, c'est là une grande difficulté. Le problème est-il dans l'état actuel de la science susceptible d'une solution? Personne n'oserait l'affirmer. Il reste bien des recherches et des expériences à faire. A n'envisager donc que ce seul côté de la question, la solution indiquée par M. Cadart n'est donc pas d'une réalisation immédiate, ni facile; elle comporte d'ailleurs des sujétions graves pour la navigation en rendant solidaires deux ascenseurs successifs. S'ils sont réunis par un bief très fréquenté où se trouvent des quais et un mouvement local important, les inconvénients peuvent devenir réellement graves. Si du reste l'on veut de toute manière arriver à l'économie, pourquoi ne chercherait-on pas à atteindre le maximum de hauteur possible pour la chute à racheter entre les biefs successifs? On est allé au canal du Centre jusqu'à 17 mètres, pourquoi n'irait-on pas jusqu'à 24 ou 25. On a dit que le piston des presses étant une pièce chargée debout, il faut assurer un rapport voulu entre le diamètre du piston et sa hauteur, mais ce rapport est-il le même quand il s'agit du diamètre de 2 mètres et d'un piston d'une construction spéciale, que si l'on se trouve en présence des colonnes en pierre employées dans la construction ordinaire? Il y a là un problème nouveau dont la haute importance mériterait des études et des expériences.

M. Cadart répond que les inconvénients qui résulteront pour la navigation de l'accouplement des sas de deux chutes successives sont moins importants qu'on le pense généralement. Si l'on considère en effet chaque chute isolément, les mouvements de montée et de descente s'y succèdent alternativement comme les mouvements du plan d'eau dans un sas d'écluse. De même que dans les écluses, une manœuvre sur deux seulement peut être utilisée lorsque plusieurs bateaux marchant dans le même sens viennent à se succéder, il n'y a qu'une sujétion supplémentaire résultant de la conjugaison des deux chutes, et elle est de bien minime impor-

tance; c'est celle de mesurer la durée de la sassée, lorsque des bateaux se présentent simultanément aux deux chutes, sur celui des deux dont la manœuvre est la plus lente. La perte de temps qui en résulte pour l'autre bateau, laquelle n'est que la différence entre la durée de la manœuvre d'entrée des deux bateaux sera bien faible, et lorsqu'on en sera réduit à compter avec ces petites pertes de temps, les écluses simples des parties peu accidentées du canal seront bien près d'être également insuffisantes, et le moment sera sans doute venu de doubler partout les sas, aussi bien aux écluses qu'aux ascenseurs.

L'adoption des ascenseurs hydrauliques à un seul sas, avec conjugaison de deux chutes voisines et égales, paraît donc à M. Cadart une solution rationnelle et recommandable pour les canaux futurs à creuser en pays accidenté, lorsque des circonstances locales ne s'opposent pas à son adoption et que ces canaux ne doivent pas avoir dès le début un trafic considérable. Cette solution se prête d'ailleurs avec une extrême facilité au doublement ultérieur, lorsque le développement du trafic l'exige, par l'adjonction de seconds sas auprès des premiers et par la suppression de la conduite d'accouplement à distance.

Sur le second point soulevé par M. le Président, M. Carlier fait remarquer que l'inconvénient qui résulte de l'immobilisation des deux appareils, dans le cas où l'un d'eux serait en réparation, n'aurait d'importance que si le bief intermédiaire devait desservir un trafic local important. C'est là un cas exceptionnel, qui doit être évité dans la préparation des projets, et ce cas devant être écarté, l'immobilisation des deux sas pour la réparation de l'un d'eux ne présentera pas d'inconvénient sérieux.

M. Vernon-Harcourt rappelle que les ascenseurs hydrauliques ont pris naissance en Angleterre et que divers projets ont été étudiés avec plusieurs presses hydrauliques pour supporter chaque sas. Il termine en rendant justice au bon fonctionnement de l'ascenseur de la Louvière qu'il a visité.

M. Cadart, dit M. Peslin, a, dans le rapport qu'il vient de développer, exprimé la pensée que l'ascenseur hydraulique, système Clark, du type adopté à Anderton, aux Fontinettes et à la Louvière, doit être considéré comme la solution la meilleure et à peu près la seule pratique, dans l'état actuel des choses, pour franchir les grandes chutes qui pourront se présenter dans les canaux de l'avenir.

Le rapporteur pense que les ingénieurs doivent rechercher surtout les modifications de nature à diminuer le prix très élevé de ces engins, et il indique notamment l'économie considérable qui résulterait de la superposition des deux sas conjugués qui se font équilibre, au lieu de leur accouplement côte à côte; il croit que cette solution sera celle qui conviendra le mieux dans la grande majorité des cas aux canaux de l'avenir, parce que leur trafic, probablement modéré, pourra être desservi convenablement par des appareils à simple voie.

M. Peslin a, dans son service, deux grandes lignes de navigation dont

les avant-projets ont été dressés par MM. les Ingénieurs en chef Flamant et Quinette de Rochemont, mais dont les projets définitifs n'ont pas encore pu être présentés par suite des difficultés budgétaires.

Sur l'une de ces lignes, le canal de l'Escaut à la Meuse, il y a, près du Cateau, une différence de niveau de 48 mètres à racheter sur une petite longueur (3 ou 4 kilomètres). M. de Quinette de Rochemont projetait pour franchir ce passage une suite de 12 écluses de 4 mètres chacune, séparées par des biefs très courts, mais il ajoutait dans son rapport, que cette solution était très défectueuse et qu'il était désirable qu'on étudiât l'application, à cette section de canal, des nouveaux appareils rachetant de grandes chutes, ascenseurs ou plans inclinés.

Appelé à succéder à M. Quinette de Rochemont, l'orateur a étudié personnellement la question des ascenseurs et des plans inclinés et c'est à cette époque qu'il a soumis à M. le Ministre des Travaux Publics le résultat de ses premières recherches qui ont été résumées dans une notice insérée dans le numéro de février 1885 des Annales des Ponts et Chaussées; c'est de cette notice que M. Cadart parle dans son rapport. Depuis cette époque, M. Peslin a continué à étudier la question des plans inclinés conformément aux instructions ministérielles et a rédigé en collaboration avec un constructeur éminent deux projets, un pour le canal de l'Escaut à la Meuse et un pour le canal du centre Belge dont il sera heureux de donner communication aux ingénieurs qui lui en feront la demande et dont il appelle de tous ses vœux les critiques et les observations.

Les dispositions de détail de ces projets diffèrent sensiblement de celles qui étaient esquissées dans la notice de février 1885. Les morceaux du sas, au nombre de cinq, pour le plan incliné du Cateau et de six pour le plan incliné belge, sont reliés solidement les uns aux autres par des tendeurs, chaînes de sûreté et tempons élastiques identiques à ceux en usage dans les chemins de fer. L'étanchéité du joint est obtenue par une feuille de tissu caoutchoutée posée à plat sur le bord des deux morceaux de sas contigus et offrant 0 m. 20 à 0 m. 30 de jeu dans les deux sens. L'ensemble est attelé par l'avant (et non par l'arrière) au moyen d'un balancier en forme de palonnier de voiture, en tôle, aux extrémités duquel sont fixés les câbles en acier au nombre de deux (chacun étant capable de supporter seul l'effort de tension normal).

On comprend facilement que dans ces conditions, la tension se trouve toujours également répartie sur les deux câbles, quels que soient les allongements accidentels de chacun d'eux, et qu'une rupture simultanée des deux brins est peu à redouter.

Le système des deux sas se faisant équilibre n'est pas automoteur et le mouvement n'est pas obtenu par une surcharge d'eau mise dans le sas supérieur, il est donné par une machine (turbine ou moteur à vapeur) placée en haut du plan incliné, près de la poulie de 8 mètres de diamètre sur laquelle passent les câbles, et actionnant cette poulie par un engrenage.

Des dispositions spéciales très simples ont été prévues pour empêcher les mouvements brusques de l'eau et du bateau dans le sas.

Le chef bien connu de la grande maison de construction dont il a été parlé plus haut a déclaré de la façon la plus formelle à l'orateur qu'il était prêt à soumissionner l'exécution de ce projet, en garantissant à l'État d'une manière absolue le fonctionnement de l'appareil.

Le détail estimatif du plan incliné du Cateau qui doit racheter une chute de 48 mètres, comme il a été dit plus haut, ne dépasse guère un million; ce plan incliné a une pente de un vingtième et 1 kilomètre de longueur, il remplace par conséquent 1 kilomètre courant de canal ce qui représente environ une économie de la moitié de la somme précitée comparativement à la construction d'écluses ou d'ascenseurs hydrauliques.

Au point de vue de la durée du sassement d'un bateau, le plan incliné peut être mis sensiblement sur le même pied que l'ascenseur, mais quand le bateau a franchi ce dernier, il n'a rien gagné comme trajet horizontal, tandis que quand il aura franchi un plan incliné, comme celui du Cateau, il aura avancé d'un kilomètre, ce qui représente à peu de chose près le trajet qu'il aurait fait s'il n'avait eu aucun obstacle devant lui.

En résumé, M. Peslin croit pouvoir affirmer comme résultat de ses études, que le plan incliné n'offre pas, en principe, de difficultés matérielles d'exécution plus grandes que l'ascenseur hydraulique, bien au contraire. Il n'est pas limité comme amplitude verticale. Son prix de revient intrinsèque est analogue à celui de l'ascenseur, plutôt inférieur, mais il remplace une certaine longueur de canal et trouve ainsi forcément une économie importante comme dépense de premier établissement. Il en est de même au point de vue de l'exploitation, la durée de la manœuvre est sensiblement la même, mais le bateau a parcouru une distance horizontale notable à la fin de cette manœuvre dans le cas du plan incliné.

Il manque évidemment à toutes ces considérations un argument capital: la preuve expérimentale; mais l'orateur croit pouvoir exprimer ici l'espoir qu'un gouvernement aura prochainement la hardiesse d'expérimenter un de ces appareils, système funiculaire ou autre, suivant ainsi le bel exemple que viennent de donner les gouvernements français et belge en entreprenant chacun de leur côté, un ascenseur hydraulique dans des conditions qui laissaient certainement prise à un aléa du même genre.

M. Gonin rappelle que c'est à l'initiative de M. Fontaine, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et des canaux du Centre et de Bourgogne, qu'il doit d'avoir été initié aux intéressantes études entreprises en France et dans les grands pays de l'Europe pour le remplacement des escaliers d'écluses par des moyens plus perfectionnés, tandis que les fonctions qui lui sont confiées dans le canton de Vaud, en Suisse, se renferment essentiellement dans la construction des routes, la correction des torrents et l'endiguement des rivières.

Il y a plusieurs années, l'orateur a été amené à faire des essais d'application de l'air comprimé à la remorque des trains sur les chemins de fer de montagne. Le système expérimenté dans ce but a été décrit dans une notice publiée en 1880 dans la *Revue universelle des Mines*. Il se compose d'un tube métallique placé entre les rails de la voie. Il rappelle, par l'extérieur du moins, le tube du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, mais il en diffère entièrement soit par le mode de construction et de fermeture de la soupape longitudinale, soit par le fait que cette fermeture a lieu par l'effet d'une pression intérieure. Ces essais ont eu lieu dans les ateliers de la Société génevoise de physique, et sous la direction de M. Th. Turrettini, membre du Congrès.

Ce fut à cette époque que M. Gonin, dont l'attention avait été appelée sur ce sujet par M. Fontaine, rédigea avec le concours de plusieurs de ses collègues une première esquisse comportant l'application de son tube à soupape longitudinale et l'emploi d'eau sous forte pression au lieu d'air.

Encouragé par l'accueil favorable fait à cette première ébauche par MM. Fontaine et Hirsch, l'orateur élabora au cours des années suivantes un projet plus complet déposé en août 1883 au ministère des Travaux Publics. C'est ce projet dont a parlé M. Cadart en termes dont M. Gonin apprécie hautement la bienveillance; mais, en considération du concours constant qui lui a été fourni durant le cours de ses études, par MM. Fontaine et Hirsch, par ses amis MM. Turrettini, Huc-Mazelet, Gaudard, Chappuis et Wolf et par la maison Gabert frères de Lyon, il croit devoir faire cependant quelques réserves sur les conclusions de M. Cadart.

Les dates rappelées par l'orateur font voir que son travail a précédé les grands Congrès de la navigation fluviale qui ont eu lieu à Bruxelles, à Vienne, à Francfort-sur-le-Mein, et que par conséquent son projet n'a pas pu être mis au courant des progrès réalisés depuis lors.

Toutefois, si pour le moment, le courant dominant des idées est plus favorable aux ascenseurs qu'aux plans inclinés, il ne faudrait pas trop généraliser cette préférence.

Pour de petites chutes, de 2 à 5 mètres environ, l'ancienne écluse avec ses nombreux perfectionnements de détail semble être le dispositif accepté de tous. Pour des dénivellations de 15 à 20 mètres, il semble résulter aujourd'hui des derniers faits que l'ascenseur hydraulique aura dans la plupart des cas sa place marquée. Mais, au delà de cette hauteur, quand il s'agira de franchir des faites plus élevés, il peut fort bien arriver que le plan incliné retrouve sa raison d'être.

Plusieurs orateurs viennent de s'exprimer dans ce même sens et c'est en particulier avec un très grand plaisir que M. Gonin vient d'entendre les explications données par M. Peslin sur le projet du sas articulé qui distingue le système de plan incliné dont il est l'auteur.

Si l'on revient, pour de grandes hauteurs à franchir, au système des plans inclinés et que l'on reconnaisse cependant, ainsi que bien des essais l'ont

déjà fait voir, que le système funiculaire ne s'applique qu'avec de grandes difficultés à cet emploi, ne serait-il pas permis de concevoir une alliance des deux systèmes, le sas de M. Peslin mis en mouvement par le piston à pression hydraulique du système dit Gonin et Huc-Mazelet?

L'orateur répond, en terminant, à quelques-unes des objections de M. Cadart, qu'il examine dans l'ordre suivant:

Étanchéité de la soupape. — Les expériences faites à Genève prouvent que cette étanchéité a été pleinement réalisée et que le joint de la soupape était complet sous 10 atmosphères de pression d'air. Cette étanchéité ne peut que s'accroître avec l'intensité de la pression intérieure, grâce à la forme en coin donnée à la soupape.

Dépense en eau. — Les dépenses d'eau des plans inclinés sont supérieures à celles des ascenseurs, mais considérablement moindres que celles d'un escalier d'écluses pour le même travail. Dans le cas particulier du canal du Centre, la question d'eau avait été considérée comme une quantité négligeable en raison de sa riche alimentation.

Coût de la construction. — Depuis l'époque où M. Gonin a soumis son projet au ministère des Travaux Publics, diverses modifications de construction ont été examinées par ses auteurs, spécialement en ce qui concerne les dispositions nécessaires à la résistance du tube. Des économies notables pourraient être réalisées de ce fait ainsi que de quelques autres.

Ainsi le système de plan incliné hydraulique pour bateaux peut encore recevoir des perfectionnements et trouver sa place dans la navigation intérieure.

La science marche; chaque jour de nouveaux progrès sont à attendre. Il faut réserver l'avenir et le laisser entièrement libre.

M. Gonin dépose d'ailleurs sur le bureau les documents suivants, destinés à donner aux membres du Congrès une connaissance plus complète de son système. Il y joint, à la demande de M. Cadart, le procès-verbal des expériences faites à Genève, de 1876 à 1879.

La séance est levée à onze heures.

ANNEXE

AU PROCÈS-VERBAL DE LA CINQUIÈME SÉANCE

NOTICE

SUR UN SYSTÈME D'ASCENSEUR HYDRAULIQUE EN RAMPE, POUR CANAUX

PROJETÉ PAR

MM. Louis GONIN et J. HUC-MAZELET
Ingénieurs à Lausanne (Suisse).

I. DESCRIPTION

du plan incliné pour l'élévation des bateaux à flot dans les canaux de navigation intérieure.

L'ascenseur hydraulique en rampe permet de mettre en communication deux biefs consécutifs d'un même canal de navigation, mais d'altitudes différentes.

Il repose sur le principe de l'équilibre des fluides sous égale pression ou de la balance de Pascal. Il comprend, d'une part :

un plan incliné à une voie ;
un tube métallique de propulsion et son piston ;
un sas roulant ;

et d'autre part :

un accumulateur de charge variable faisant constamment équilibre au sas roulant.

Si le canal a un grand trafic, cet accumulateur sera remplacé par un second plan incliné conjugué au premier, construit dans des conditions identiques et dont le sas ferait sans cesse équilibre au sas du premier plan incliné.

Le projet qui est déposé au ministère des travaux publics est conçu de manière à résoudre le problème en l'appliquant à un cas spécial et dans les conditions suivantes :

Différence de niveau des deux biefs	18 m. 00
Inclinaison de la rampe de l'ascenseur	$\frac{1}{10}$
Longueur de la rampe	180 m. 09

Dimensions des bateaux :

Longueur	38 m. 50
Largeur	5 m. 00
Profondeur	1 m. 80
Poids total du bateau en charge	300 tonnes.

Plan incliné. — Ce plan est formé simplement d'un terrassement à pente régulière de $0^m,10$ par mètre, rachetant la différence de niveau des deux biefs.

Quatre files de rails en acier, de 41 kilogrammes par mètre courant, forment deux voies symétriques de 1 mètre de largeur, espacées de $5^m,20$ d'axe en axe. Leur écartement est maintenu par des traverses en fer en U espacées de 3 mètres.

Les voies de fer sont supportées dans toute leur longueur par deux murs longitudinaux, de $1^m,50$ de largeur, percés de petites voûtes.

Tube de propulsion. — Le tube en fonte, de $0^m,45$ de diamètre intérieur à fente longitudinale, alésé dans toute sa longueur, est formé d'une série de tronçons, de 3 mètres de longueur, s'emboîtant bout à bout. Ils sont reliés entre eux à brides et boulons.

La résistance en a été calculée pour une pression intérieure de 60 kilogrammes par centimètre carré.

Des nervures indépendantes du tube, espacées entre elles de $0^m,50$, s'opposent à l'ouverture du tube sous l'effort de la pression intérieure.

Ces nervures forment un croissant dont la section en double T est composée d'une tôle et de quatre cornières; elles sont calculées pour résister à l'effort de 67 500 kilogrammes exercé par l'eau comprimée qui tend à élargir la baie et qui est reporté sur chaque nervure par deux cours de poutres en fer double T, fortement coincés entre le tube et les nervures.

L'âme des nervures a reçu une forme rectangulaire de $3^m,18$ de longueur et de $1^m,70$ de hauteur; elle est échancrée à sa partie supérieure sur $1^m,88$ de largeur et $0^m,62$ de profondeur pour recevoir le tube de propulsion.

Toutes les nervures sont reliées entre elles par quatre cours de cornières aux quatre angles extrêmes. Elles reposent sur quatre files, parallèles au tube, de fers en U logés, le plat en haut, dans la maçonnerie de fondation et formant glissières.

Dans ce système de construction du tube, les sièges de la soupape ne sont pas venus de fonte avec le corps du tube; ce sont deux pièces rapportées fixées par des boulons aux parois de la fente du tube.

Soupape longitudinale. — La soupape est une bande flexible, en acier, dont les surfaces latérales sont dressées suivant des plans parallèles à ceux des sièges; la surface inférieure de la soupape est alésée suivant le rayon du tube de propulsion.

Au repos, la soupape s'étend librement dans l'intérieur du tube. On peut aussi la suspendre par de légères tiges verticales articulées à une bande de fer, qui, au repos, viendrait s'appuyer sur les bords supérieurs de la baie.

Lors de la fermeture du tube, c'est-à-dire au moment où arrive le piston, la soupape vient appuyer contre ses sièges. Elle est amenée insensiblement à cette position après avoir subi une légère inflexion sans torsion. Cette inflexion est provoquée par une série de galets-guides, en forme de bobines à gorge épousant la surface concave de la soupape; ces galets à diamètres décroissants sont répartis le long de la tige du piston jusqu'à la barre d'attelage.

Enfin des guides et galets releveurs, convenablement disposés à l'avant du prolongement de la tige du piston, relèvent la soupape au fur et à mesure de la marche du sas.

Sas roulant. — Le sas roulant est un caisson rectangulaire en tôle assemblé par cornières et rivets. Les dimensions admises dans le projet étudié sont :

Longueur	45 m. 00
Largeur	5 m. 20
Hauteur	2 m. 50
Poids total du sas en marche normale	690 tonnes.

Le sas est porté sur 116 roues par l'intermédiaire d'un châssis triangulaire en fer, conservant l'horizontalité au caisson.

La charge sur chaque essieu ou sur chaque paire de roues n'atteint pas 12 tonnes et reste donc inférieure à la limite admise pour les essieux de locomotive.

Pour atténuer les vibrations du sas en marche, des ressorts en acier sont intercalés entre les essieux et les longerons du châssis.

Tampon. — Le tampon qui reçoit l'effort de la barre d'attelage ou qui le lui transmet, est placé à l'amont du sas; il est porté par une forte poutre assemblée au châssis.

Freins. — Pour être en mesure d'enrayer le sas sur un point quelconque du plan incliné, on a prévu diverses sortes de freins.

Les freins principaux sont du système Heberlein et sont placés de chaque côté du sas. Ils peuvent être actionnés à la main ou fonctionner automatiquement en cas de rupture d'un organe.

Un autre système de freins consiste en tenailles saisissant fortement les rails et actionnées par de l'air comprimé.

Portes du sas. — Le sas est formé par deux portes à rabattement mobile autour d'un axe horizontal. Elles viennent se loger, quand elles sont

ouvertes, dans un approfondissement de $0^m,50$ ménagé aux extrémités du sas. On les manœuvre au moyen de treuils à main. Des valves tournantes permettent d'établir l'équilibre des hauteurs d'eau sur leurs deux faces quand on a à les manœuvrer.

Les portes des biefs sont semblables à celles du sas et se manœuvrent de même.

Accumulateur. — Le sas et l'accumulateur sont, à tour de rôle, le moteur de tout le système; le poids de ce dernier doit pouvoir varier, puisque le poids du sas est constant pour une tenue donnée des biefs.

En marche normale, c'est-à-dire avec 2 mètres d'eau dans le sas, la charge de l'accumulateur varie entre les chiffres de 1943 et de 1427 tonnes.

La différence entre ces deux chiffres représente le poids du lest amovible à consommer pour une double opération.

L'accumulateur se compose d'une *cuve* cylindrique en tôle, d'un *piston plongeur* et d'une *presse*.

La *cuve* reçoit une charge fixe, en béton lourd, et est disposée pour recevoir et laisser échapper, à volonté, le lest additionnel qui parfait son poids. La tôle est armée de nervures pour résister à la pression de l'eau du lest.

Le *plongeur* est en fonte, à corps cylindrique, terminé en bas par une calotte sphérique et en haut par un chapiteau carré, sur lequel repose la cuve par le moyen de poutres en fer placées en croix. L'étanchéité des joints du plongeur est assurée par une bande de cuivre chassée dans un filet trapézoïdal taillé sur le pourtour des tronçons à assembler.

Le corps de la presse est formé de tronçons successifs, à joints étanches comme ceux du plongeur, assemblés par brides extérieures et boulons. Dans la construction de cet organe important on aura soin de se diriger d'après les résultats obtenus à l'ascenseur des Fontinettes, sur le canal de Neuffossé (Pas-de-Calais).

La presse porte quatre tubulures aboutissant toutes à un récipient commun, lequel est mis en communication par une conduite munie d'un robinet avec la culasse du tube de propulsion.

L'accumulateur peut, s'il y a lieu, être décomposé en deux ou quatre accumulateurs groupés.

Durée du sassement. — La durée de la manœuvre est comptée à raison de seize minutes, la marche du sas étant de $0^m,50$ par seconde et le personnel se composant d'un mécanicien et d'un éclusier.

Avantages du système. — On revendique en faveur de ce système de plan incliné hydraulique les avantages ci-après :

1° La suppression des câbles, dont les chances de rupture sont inévitables;

2° L'emploi de ressorts pour la répartition du sas sur les roues du châssis;

3° La présence de freins puissants, manœuvrables à volonté ou fonctionnant automatiquement en cas d'accident;

4° La solidité exceptionnelle de la voie;

5° Et surtout la suppression du danger inhérent aux élévateurs verticaux de faire supporter le sas à une grande hauteur par un seul piston de presse hydraulique, ce danger étant reporté du sas sur l'accumulateur plus facile à guider et sur lequel la présence d'hommes n'est jamais néccessaire;

6° On ajoute à ces divers avantages celui de l'économie de construction, réalisée par la suppression de remblais considérables ou d'ouvrages métalliques longs et élevés qui seraient rendus nécessaires à l'approche d'élévateurs verticaux et sont évités par l'emploi de plans inclinés;

7° Plus la hauteur à racheter entre deux biefs consécutifs sera grande, plus aussi, selon toute apparence, l'avantage se dessinera en faveur du plan incliné vis-à-vis de l'élévateur vertical.

Le projet dont les traits généraux ont été présentés dans ce qui précède, a été étudié en vue de son application à un canal de navigation intérieure en France. Il a reçu les encouragements de plusieurs ingénieurs éminents de ce pays et notamment ceux de M. Fontaine, ingénieur en chef des Ponts et chaussées et des canaux de Bourgogne et du Centre à Dijon, et de M. Desmur, ingénieur des Ponts et chaussées et de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, à Marseille.

Les auteurs du projet ont aussi reçu la bienveillante collaboration de plusieurs ingénieurs suisses, et notamment celle de MM. Gaudard, professeur de Génie civil à l'Académie de Lausanne, Chappuis et Wolf, ingénieurs-constructeurs à Nidau, et de M. Th. Turrettini, à Genève.

L'étude du plan incliné pour bateaux qui vient d'être décrite a fait suite à des expériences faites dans les ateliers de la Société génevoise pour la construction d'instruments de physique, à Plainpalais, près Genève, sous la direction de M. Th. Turrettini, au moyen d'un tube expérimental construit par M. Louis Gonin, ingénieur à Lausanne.

Dans ces essais, le fluide agissant dans le tube était de l'air comprimé à 5 atmosphères et même, dans un cas particulier, à 10 atmosphères.

Le but poursuivi par l'auteur du système est de conserver, pour les chemins de fer de montagne, le système moteur à simple adhérence, en complétant, par un effort additionnel, ce qui manque à la locomotive au moment où elle quitte un palier ou une faible déclivité pour aborder une forte rampe.

On donne, dans ce qui suit, la description de cet appareil expérimental et le procès-verbal des expériences auxquelles il a été soumis en 1876 et en 1879.

II. DESCRIPTION

du tube expérimental construit à Plainpalais, près Genève (Suisse).

Les ascenseurs actionnés par fluides comprimés, dont on présente ici le système, ont ceci de particulier qu'ils peuvent être construits suivant une rampe ou suivant la verticale. Le système pourrait même être appliqué à une traction dans le sens horizontal.

Tandis que le système actuellement connu des ascenseurs hydrauliques à plongeur exige le forage d'un puits dont la profondeur est égale à la hauteur de l'ascenseur et qu'il ne peut être établi que suivant la verticale, le nouvel ascenseur peut être placé sur une longueur quelconque, sur la verticale ou sous une inclinaison quelconque, sans puits.

Les éléments essentiels de cet ascenseur sont :

Le tube métallique,

La soupape longitudinale,

Le piston propulseur et sa tige,

La barre d'attache.

Le tube métallique (fig. 1, A et fig. 6). — Il est formé de tronçons successifs assemblés à brides et à boulons. Il est ouvert, dans sa longueur par une baie ou fente longitudinale, tour à tour ouverte pour donner passage à la barre d'attelage, ou fermée pour empêcher le fluide comprimé (air ou eau) de s'échapper.

Il est consolidé par des nervures extérieures qui l'empêchent de s'ouvrir sous l'effort de la pression qui agit à l'intérieur.

Soupape longitudinale (fig. 1, B). — Les parois de la fente longitudinale, ayant la forme d'un trapèze, servent à former le siège de la soupape, qui elle-même est disposée suivant la forme d'un coin.

Cette forme de coin permet à la soupape de remplir parfaitement l'espace compris entre les parois de la fente du tube et d'obturer hermétiquement tout passage de l'intérieur à l'extérieur du tube par lequel s'échapperait le fluide comprimé.

La soupape est formée : d'une bande flexible qui en forme le noyau; d'une lame de cuir enveloppant ce noyau et formant la surface de contact de la soupape contre les parois de la fente; de deux bandes de fer plat qui embrassent entre elles les deux pièces de bois et de cuir. L'une de ces bandes, fixée à la surface inférieure de la soupape, complète la paroi métallique intérieure du tube et reçoit le frottement du piston.

Lorsque le tube n'est pas placé verticalement, la soupape peut être suspendue par des tringles à une bande de fer plat, placée extérieurement au tube et recouvrant la fente comme l'indiquent les figures 2, 3 et 4.

Piston propulseur et tige. — Le piston peut être construit de différentes manières.

Si l'ascenseur est actionné par l'eau, il sera construit comme un piston ordinaire de pompe.

Si l'ascenseur est actionné par l'air comprimé, il sera garni de cuir; il

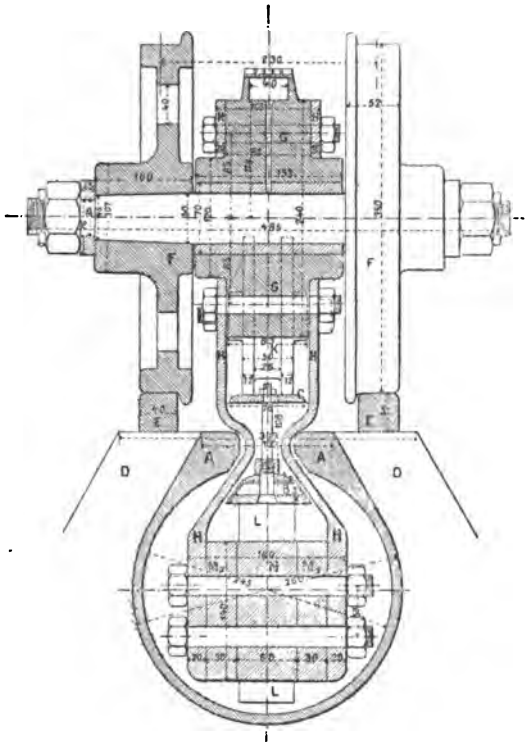


Fig. 1. — Coupe du tube avec soupape et chariot porte-tampon.

A. Tube en fonte.

B. Soupape longitudinale se composant de quatre parties :

1° Bande de fer en goutte de suif;

2° Lanière de cuir gras, enveloppant le corps de la soupape;

3° Corps de la soupape;

4° Lame de fer plat.

C. Bande de fer plat, à laquelle la soupape est suspendue, au moment du repos, par des tringles verticales. Elle sert en même temps à recouvrir l'orifice longitudinal du tube et à intercepter l'entrée des corps étrangers.

Au passage de la barre d'attelage, puis du piston, elle se relève avec la soupape qui y est attachée, et prend les positions successives indiquées dans les figures 2, 3 et 4 ci-contre.

D. Nervures ou contreforts extérieurs du tube.

E. Petits rails en fer carré sur lesquels roulent les galets du chariot.

F. Galets du chariot.

G. Boîte à graisse et palier de l'essieu du chariot.

H. Barre d'attache double, en forme de lyre.

K et L. Galets d'écartement, placés l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la soupape et la maintenant à la position voulue pendant le passage de la barre d'attelage.

M_1 et M_2. Les deux barres moisées en fer qui forment la tige du piston et auxquelles est fixée la barre d'attelage.

L'une des extrémités de la tige est fixée au piston par une rotule qui permet le passage dans les courbes; l'autre extrémité est supportée par un jeu de trois galets rayonnants et formant entre eux des angles au centre de 120°, ou par un second piston à frottement doux.

N. Fourrure entre les deux barres de la tige moisée pour permettre le serrage des boulons.

se composera d'une masse de fonte évidée, à la circonférence de laquelle seront pratiquées trois rainures larges de 50 millimètres. Au fond de chaque rainure est placé un anneau en caoutchouc : sur cet anneau on moule de longues bandes de cuir qui frottent de champ contre le tube (type de piston Giffard).

La tige du piston est formée de deux bandes de fer plat portant à leur extrémité deux rouleaux-guides destinés à empêcher le basculement de la tige par l'effet de la résistance qui s'exerce sur elle par le moyen de la barre d'attelage.

Barre d'attache (fig. 1, II). — La barre d'attache se compose de deux

plaques cintrées en forme de lyre, en tôle, qui sont écartées l'une de l'autre dans l'intérieur du tube pour embrasser la soupape, se rapprochent de nouveau en traversant la rainure ou fente, s'écartent de nouveau, en sortant du tube, pour laisser passer entre elles la platine qui supporte la soupape.

L'extrémité supérieure de la barre d'attelage se relie au chariot ou à la plate-forme extérieure de l'ascenseur.

La distance entre le piston propulseur et la barre d'attache devra toujours être assez grande pour permettre à la soupape de s'infléchir, sans fatigue, entre ces deux points.

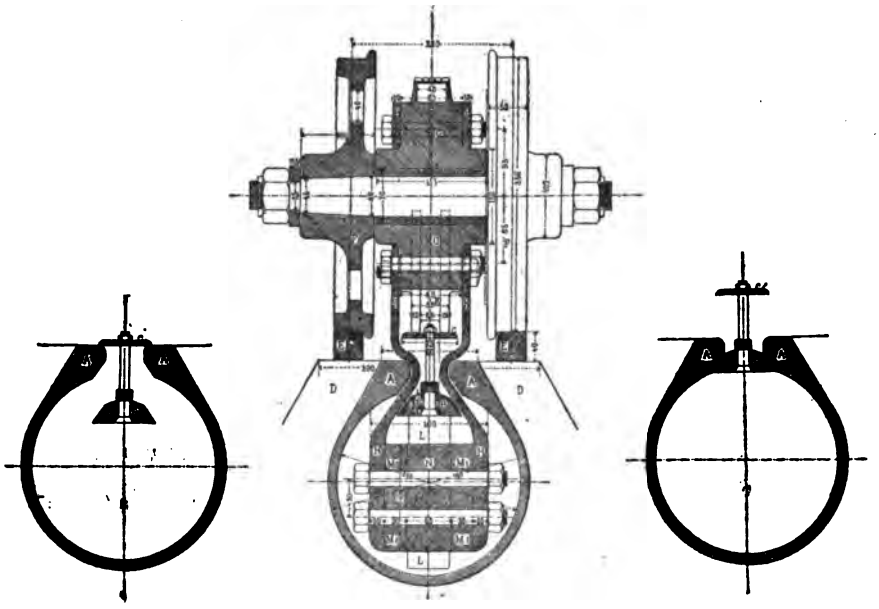


Fig. 2. à l'avant du piston.

Fig. 3. Coupe du tube et du chariot porte-tampon au moment du passage de la barre d'attelage.

Fig. 4. à l'arrière du piston.

Marche du piston (fig. 2, 3 et 4). — On conçoit facilement que le piston, soumis à la pression de l'eau ou de l'air comprimé, se mettra en mouvement en poussant devant lui, au moyen de sa tige, la barre d'attache et le chariot extérieur.

Dans ce cas, la soupape, quelle que soit sa position, sera d'abord amenée par les galets extérieurs et par d'autres galets intérieurs dans la position voulue pour laisser libre passage aux flasques de la barre d'attache; puis, soulevée par le piston lui-même, elle pénétrera dans son siège, où elle restera maintenue, après le passage du piston, par la pression de l'eau ou de l'air agissant sur celui-ci; ainsi placée, elle rendra étanche toute la partie du tube dans laquelle s'exerce cette pression.

Au retour, lorsque le piston revient en arrière au moyen d'un effort

exercé sur le chariot ou redescend par l'effet de son poids, les choses se passeront de la même manière, la soupape étant toujours fermée dans les parties du tube où s'exerce la pression et étant ouverte convenablement au passage de la barre d'attache.

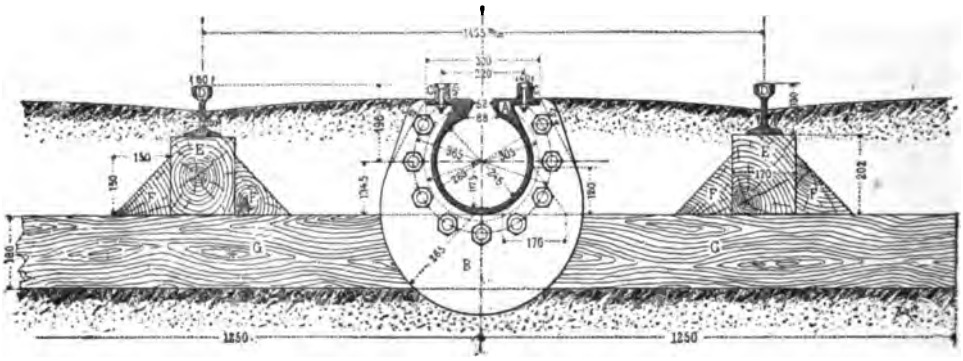


Fig. 5. — Coupe de la voie avec tube de propulsion.

A. Tube de propulsion en fonte.
B. Nervures du tube.
C. Petits rails sur lesquels roulent les galets du chariot porte-tampon.
D. Traverses de la voie.
E. Longrines destinées à relever les rails.
F. Blochets pour appuyer les longrines.
G. Traverses de la voie.

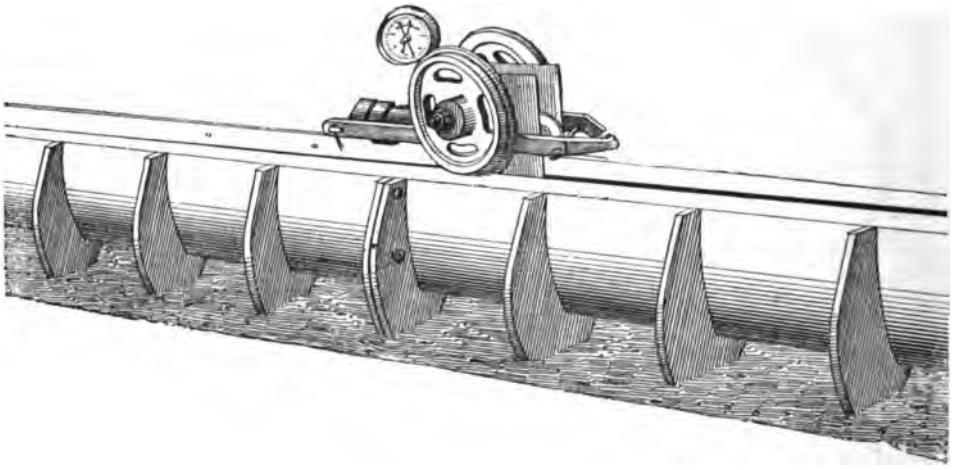


Fig. 6. — Vue de l'appareil expérimental pour ascenseur à air comprimé, construit à Plainpalais près Genève (Suisse).

Le tube expérimental est placé simplement sur le terrain naturel.

Sur la gauche du dessin, en avant du piston, la soupape est dans un état de repos. On la voit, se relever légèrement à l'approche du chariot, puis se relever un peu plus sur la droite du dessin où elle arrive à sa position la plus haute; c'est là la position qu'occupe le piston.

Sur le tube, au milieu du dessin, on remarque le chariot guide muni d'un manomètre et porteur de la pompe à huile servant de dynanomètre.

PROCÈS-VERBAL

des expériences faites sur le tube construit à Plainpalais (Genève) pour la locomotion à l'aide des fluides sous fortes pressions.

1° Dans le cours des années 1875 à 1879, il a été construit dans les ateliers de la Société genevoise pour la construction d'instruments de physique et de mécanique, à Plainpalais (Genève), un tube expérimental destiné à servir à la démonstration et à l'essai du système de propulsion proposé et décrit par M. l'ingénieur Louis Gonin dans l'écrit intitulé : *Notice sur l'ascenseur à air comprimé*, ouvrage dont un exemplaire est annexé au présent procès-verbal (cette notice est résumée dans la description qui précède; elle n'a pas été distribuée aux membres du Congrès).

Description. — 2° L'ascenseur à fluides comprimés (air ou eau) se compose d'un tube métallique établi au milieu d'une voie ferrée.

Dans ce tube se meut un piston prolongé par une tige à laquelle est fixée une double barre d'attelage qui sort par une baie ménagée à la partie supérieure du tube et qui imprime le mouvement au mobile extérieur.

La baie longitudinale est ouverte à l'avant du piston par une soupape longitudinale flexible, en forme de coin soulevée au moment du passage de la barre d'attelage.

Premiers essais de 1876. — 3° Le tube expérimental a été construit sur une longueur de 40 mètres et avec un diamètre intérieur de $0^{m},250$. Il a été soumis, en 1876, à une première série d'expériences destinées seulement à constater le mode de fonctionnement du système et l'étanchéité de la soupape.

Elles eurent lieu devant une commission d'ingénieurs experts délégués par le gouvernement du canton de Vaud; cette commission était composée de :

M. Karl Pestalozzi, colonel fédéral d'artillerie, professeur de construction et de génie civil à l'École polytechnique fédérale à Zurich;

M. Léon Ribourt, ingénieur, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures, alors ingénieur de l'entreprise Louis Favre au Gothard, actuellement ingénieur civil à Paris;

M. F.-G. Noeller, ancien élève de l'École centrale et ancien ingénieur en chef de la Traction des chemins de fer de la Suisse occidentale, aujourd'hui décédé;

M. A. Rodieux, ingénieur en chef de la Traction des chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon, à Yverdon.

Cette commission a conclu, dans son rapport du 11 septembre 1876, en faveur de la continuation et du développement de cette application.

Essais dynamométriques de 1879. — 4° A la suite de ces premiers essais de 1876 et de quelques améliorations de détail apportées à la soupape et au piston, il a été procédé à l'installation des appareils nécessaires à la mesure dynamométrique des efforts développés dans le tube expérimental.

L'installation de ces appareils dynamométriques a eu lieu aux frais de l'État de Vaud, dans les ateliers de la Société génevoise de construction, à Plainpalais (Genève), en 1879.

On rappelle ici que, dans toutes ces expériences, la pression exercée à l'arrière du piston était produite par de l'air comprimé jusqu'à la pression d'environ 5 atmosphères, pression qui a même été poussée jusqu'à 10 atmosphères.

5° Les essais dynamométriques ont eu lieu de la manière suivante :

Le tube expérimental de Plainpalais avait une longueur totale de 40 mètres. Les dispositions locales du terrain n'ont pas permis de l'établir sur une inclinaison qui aurait rendu faciles la production et la mesure d'un effort de traction. Pour y suppléer, on a eu recours aux arrangements suivants :

Au cours des expériences, le petit chariot conducteur qui, en pratique, devra porter le tampon destiné à appuyer contre le wagon-frein, a été seulement muni d'une petite pompe à huile servant de dynamomètre; une sorte de bride ou étrier à laquelle est reliée la chaîne d'un treuil servant à produire la résistance, appuie sur le piston de la pompe à huile; on mesure alors directement les pressions dynamiques exercées sur le piston du tube par l'air comprimé et les pressions exercées sur le piston de la pompe à huile par le treuil.

Un premier manomètre gradué de 0 à 10 atmosphères est placé à la tête du tube près de l'arrivée d'air; un second, permettant de lire les pressions de 0 à 300 atmosphères, est placé sur le cylindre de la pompe à huile.

Le rapport des deux sections est d'environ 1/17e, ce qui fait que le chiffre 300 ne sera jamais atteint, puisqu'il correspondrait à une pression dans le tube de 300/17, soit 17,5 atmosphères, le chiffre maximum, qui ne doit jamais être dépassé et pour lequel le tube a été calculé, étant 10 atmosphères.

Nous donnons ci-après un extrait du tableau dressé d'après les expériences et qui a servi à établir le rendement du système.

En examinant les chiffres, on voit que le rendement augmente avec la pression.

Le travail perdu est celui qui provient du frottement du piston dans le tube et du frottement des rouleaux-guides contre les parois du tube.

6° Ces expériences ont été renouvelées à plusieurs reprises devant un grand nombre de témoins au nombre desquels se trouvent plusieurs

membres des autorités de la Confédération suisse et du canton de Vaud, et quelques ingénieurs vaudois et génevois qui attestent de leur signature l'exactitude des faits qui précèdent.

7° Les principaux de ces essais ont eu lieu :

Le samedi 11 *octobre* 1879, à trois heures après midi, devant Messieurs :

S. Bavier, à cette époque conseiller fédéral, puis président de la Confédération suisse, actuellement ministre plénipotentiaire de la Confédération auprès du gouvernement italien, à Rome;

De Crousaz, conseiller d'État, chef du département des Travaux publics du canton de Vaud (décédé depuis lors) ;

Berney, conseiller d'État du canton de Vaud, à Lausanne;

Le vicomte de la Cressonnière, officier de la Légion d'honneur, à Lausanne;

Guiguer de Prangins, ingénieur à Lausanne.

Le vendredi 28 *novembre* 1879, à trois heures après midi, devant Messieurs :

Adolphe Dupraz, président du Grand Conseil du canton de Vaud, à Vevey;

F. Laurent, ingénieur, ancien directeur de l'exploitation des chemins de fer de la Suisse occidentale, à Lausanne;

E. Payot, ingénieur à Bex, membre du Comité de direction de la Compagnie des salines de Bex;

H. Lavanchy, ingénieur-constructeur à Vevey.

Pendant les essais, M. Th. Turrettini, ingénieur-directeur de la Société génevoise de construction, lisait les chiffres du manomètre indiquant la pression dans le piston à huile.

M. Lagarde, ingénieur de cette Société, lisait le manomètre indiquant la pression dans le tube, et M. Ch. Schmidtgen, chef d'atelier, manœuvrait le frein du treuil pour régler la vitesse du piston.

Lausanne, le 22 octobre 1885.

Signé : Louis Gonin, *ingénieur*.

8° Tableau de quelques-unes des expériences dynamométriques faites sur le tube expérimental de Plainpalais en 1879.

La colonne A exprime les pressions dynamiques lues au manomètre placé près de l'arrivée d'air et multipliées par 17,5, rapport des sections.

La colonne B donne les pressions dynamiques lues au manomètre de la pompe à huile faisant fonction de dynamomètre.

EXPÉRIENCES MENTIONNÉES A LA PAGE 23 DE LA NOTICE.				EXPÉRIENCES MENTIONNÉES A LA PAGE 46 DE LA NOTICE (29 NOVEMBRE 1879).					
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
82	73	60	52	88	82	86	80	88	85
78	71	56	48	80	76	80	75	80	80
73	69	52	45	76	72	74	70	80	78
69	65	47	41	74	70	72	68	76	72
65	59	43	38	72	68	70	65	76	70
60	53	39	33	68	65	66	65	72	68
56	49	34	28	64	60	62	60	72	65
52	46	30	24	60	58	60	58	68	65
47	42	26	20			55	52	68	62
43	37	21,5	16			52	50	64	62
39	34							62	60
								60	58
								60	55
664	598	408,5	345	582	551	677	643	926	880

Moyennes :

$\frac{598}{664} = 0,90$ | $\frac{345}{408,5} = 0,84$ | $\frac{551}{582} = 0,946$ | $\frac{643}{677} = 0,948$ | $\frac{880}{926} = 0,956$

Résultat moyen : 0,949.

Les soussignés reconnaissent, chacun pour ce qui le concerne, l'exactitude des faits rapportés par le procès-verbal qui précède.

Rome, le 25 octobre 1885.

Signé : BAVIER.

Bois-de-Vaux, le 9 novembre 1885.

Signé : Vicomte L. DE LA CRESSONNIÈRE,
Officier de la Légion d'honneur.

Lausanne, le 10 novembre 1885.

Signé : J. BERNEY.

Vevey, le 4 novembre 1885.

Signé : Ad. DUPRAZ.

Bex, le 4 novembre 1885.

Signé : Ed. PAYOT, *ingénieur*

Lausanne, le 9 novembre 1885.

Signé : F. LAURENT, *ingénieur.*

Lausanne, le 10 novembre 1885.

Signé : Ch. GUIGUER DE PRANGINS, *ingénieur.*

Genève, le 12 novembre 1885.

Signé : TURRETTINI.

M. L.-H. Delarageaz, colonel fédéral, ancien conseiller d'État du canton de Vaud, témoin à l'essai du 11 octobre 1879, reconnaît aussi l'exactitude des faits rapportés par le procès-verbal qui précède.

Signé : Delarageaz,

ancien chef du Département des travaux publics du canton de Vaud.

N° 4156. — Vu pour légalisation des signatures ci-dessus, apposées par MM. Bavier, ministre plénipotentiaire à Rome, ancien conseiller fédéral, président de la Confédération suisse; — J. Berney, ancien conseiller d'État du canton de Vaud; — Vicomte de la Cressonnière, membre de la Légion d'honneur; — Ad. Dupraz, à Vevey, ancien président du Grand Conseil du canton de Vaud; — E. Payot, ingénieur et membre de la direction des salines de Bex; — F. Laurent, ingénieur et ancien directeur de l'Exploitation des chemins de fer de la Suisse occidentale; — Ch. Guiguer de Prangins, ingénieur; — Th. Turrettini, ingénieur à Genève, et L.-H. Delarageaz, ancien conseiller d'État du canton de Vaud.

Lausanne, le quatorze novembre mil huit cent huitante-cinq (14 novembre 1885).

(L. S.) Signé : S. Gay, *juge de paix.*

N° 351. — Vu à la chancellerie d'État du canton de Vaud, pour légalisation du sceau et de la signature de M. le juge de paix de Lausanne.

Lausanne, le 18 novembre 1885.

(L. S.) Signé : *Le chancelier*, Lecomte.

Le juge de paix du cercle de Lausanne certifie que la copie qui précède est la reproduction fidèle de l'acte qui lui a été présenté en original.

A Lausanne, le vingt novembre mil huit cent huitante-cinq.

(L. S.) Signé : *Le juge de paix*, S. Gay.

SIXIÈME SÉANCE

Vendredi 26 juillet.

La séance est ouverte à neuf heures du matin, sous la présidence de M. de Raeve.

M. Vernon-Harcourt conteste la thèse soutenue par M. Jaquelin dans son mémoire, à savoir que les canaux latéraux constituent la seule solution véritablement bonne de la navigation intérieure. La solution est une question d'espèce, mais l'orateur estime que si l'on peut améliorer les rivières sans trop de frais, c'est encore la meilleure façon de faire la canalisation, et il ne lui semble pas nécessaire de recourir à un canal latéral.

En ce qui concerne la hauteur limite qu'il est possible de donner aux barrages mobiles, l'orateur pensait que cette limite avait été à peu près atteinte au barrage de Suresnes, mais s'il est possible d'aller plus loin, comme on le lui a dit, il considère que ce serait une très bonne chose et un progrès important.

M. Vernon-Harcourt exprime son étonnement de voir que le trafic fluvial se trouve accumulé presque tout entier sur les voies navigables du nord-est de la France et sur la Seine. Il est convaincu que si, dans le sud de la France, les rivières étaient améliorées, le trafic remonterait aussitôt.

M. Boulé partage l'avis de M. Vernon-Harcourt; il prend pour exemple le port de Périgueux, qui est très bon, mais où le trafic est à peu près nul. Avant la construction du chemin de fer, ce trafic était assez considérable, mais le chemin de fer est venu, on a laissé la rivière dans le même état, et il n'y a presque plus de navigation à Périgueux.

Decazeville n'est pas loin de ce centre de consommation, et pourtant on n'y brûle guère que des houilles anglaises qui coûtent moins cher. Le prix du fret était autrefois de 10 centimes par kilomètre; il n'a pu être abaissé, puisque les rivières n'ont été l'objet d'aucune amélioration, tandis que sur les chemins de fer ce prix est descendu à 3 centimes. M. Boulé croit que si l'on donnait aux rivières un tirant d'eau de 2 mètres, la navigation y reviendrait, et leur trafic ne tarderait pas à avoir une réelle importance.

M. Vernon-Harcourt dit qu'on se demande actuellement en Angleterre s'il ne serait pas profitable d'améliorer les canaux. Il croit pour sa part

que, si on les améliorait tous, il n'y aurait pas de trafic, et qu'il suffit d'améliorer les voies navigables sur lesquelles on peut espérer un trafic sérieux. L'orateur se félicite, en terminant, d'avoir été appelé à discuter devant le Congrès la question des barrages mobiles, qui sont la gloire des ingénieurs français.

M. Carlier explique que tous les canaux du réseau du Midi, établis à grands frais par l'État, se trouvaient dans d'excellentes conditions de navigabilité. Malheureusement, on a commis la faute économique de les concéder à la même Compagnie que le chemin de fer. Cette Compagnie perçoit sur ses canaux un tarif de péage égal à celui qu'elle perçoit sur son chemin de fer. Ces canaux sont abandonnés, mais ce n'est pas parce qu'il n'y a pas de trafic, c'est parce que le prix de péage est trop élevé. Les mines de houille ne peuvent lutter avec les mines étrangères dont les produits arrivent par Bordeaux dans tout le midi de la France et viennent faire concurrence jusqu'à Toulouse aux charbons de Decazeville.

Il y a encore un autre réseau qui figure comme grand canal ; il se compose de deux tronçons : le canal de Bourgogne et la ligne du Centre. Il y a seulement quelques années que le tirant d'eau du canal de Bourgogne a été porté à 2 mètres. Malheureusement ce canal se relie par le sud au Rhône dont la navigabilité n'est pas excellente. Quant au canal du Centre, il est commandé par le canal de la Loire, qui n'est pas amélioré. Voilà les raisons pour lesquelles ces grandes lignes, appelées à avoir un grand trafic, n'ont pas actuellement celui qu'on pourrait espérer.

M. Delocre fait remarquer que les améliorations réalisées sur le canal de Bourgogne ont déjà donné des résultats importants, puisque depuis l'époque où le tirant d'eau de ce canal a été porté à 2 mètres, son trafic de transit a doublé. Ce trafic augmenterait dans de bien plus grandes proportions encore, si l'Yonne était améliorée.

M. de Mas expose que le tirant d'eau de l'Yonne étant resté stationnaire à $1^{m},60$, il ne faut pas s'étonner qu'on ne retire pas tout le fruit qu'on en pourrait attendre des améliorations déjà réalisées sur le canal de Bourgogne, la haute Seine et la Saône, améliorations qui restent en partie stériles. Le jour où le tirant d'eau de l'Yonne serait porté à 2 mètres, on aurait certainement un développement considérable du trafic.

M. le Président constate que dans la visite du barrage de Suresnes, les membres du Congrès ont eu le plaisir d'admirer à la fois la beauté de cette œuvre d'art et la remarquable facilité des manœuvres qui ont parfaitement réussi. Grâce à MM. Boulé et Caméré, les visiteurs ont pu suivre toutes les opérations indiquées dans le programme; quelques-unes de ces expériences seront fort utiles aux ingénieurs étrangers qui auront dans l'avenir à s'occuper de barrages de cette nature.

La parole est donnée à M. Oriolle pour une communication relative au système de halage funiculaire dont il est l'inventeur.

Avant de rendre compte des essais de traction mécanique des bateaux qu'il poursuit, à Tergnier, sur une section du canal de Saint-Quentin, M. Oriolle désire rappeler sommairement les essais déjà faits sur cette même section et les difficultés mises en lumière par l'expérience et auxquelles il a cherché à remédier.

En 1883, l'orateur a obtenu de l'Administration des Travaux publics l'autorisation de procéder, sur le canal de Saint-Quentin, à l'installation à ses frais d'un câble télédynamique, actionné par un moteur fixe avec lequel il se proposait d'effectuer des expériences de halage. Il ne faisait, du reste, en cela, que poursuivre l'application d'une idée souvent émise, mais dont la réalisation pratique ne lui paraissait pas avoir encore été établie.

Dès ses premières expériences, il a reconnu que le problème dont il cherchait la solution présentait des difficultés qu'il n'avait pas même entrevues. Il s'agissait en réalité de résoudre trois problèmes distincts pouvant s'énoncer ainsi :

a. — Établir le câble et ses supports dans des conditions telles qu'ils ne puissent jamais se séparer.

b. — Fixer la remorque qui relie le bateau au câble sans fin qui l'entraîne, au moyen d'un appareil permettant au marinier, même seul sur son bateau, en tout point du parcours, de provoquer, maintenir ou suspendre son entraînement et cela sans effort et sans descendre à terre.

c. — Transmettre l'effort de la remorque au bateau par l'intermédiaire d'un engin spécial qui lui imprime graduellement sa vitesse et évite des à-coups qui changeraient brusquement la répartition des tensions dans le câble et son mode d'action sur les supports.

Pendant deux années, de 1883 à 1884, M. Oriolle a consacré la majeure partie de son temps à rechercher, pour chacun de ces trois problèmes, une solution satisfaisante. A la suite d'expériences réitérées, il a été amené à changer plusieurs fois chacun des appareils dont il se servait, de telle sorte que dans ses essais actuels, il ne reste de l'installation primitive que le câble et l'appareil d'entraînement. Pour bien faire comprendre les dispositions qu'il a été amené à adopter, l'orateur indique sommairement les tâtonnements auxquels a donné lieu la solution de chacun des trois problèmes ci-dessus énoncés.

a. *Maintien du câble sur ses supports.* — On avait commencé par employer des poulies montées sur des axes invariablement fixés à leurs supports. Avec cette disposition, M. Oriolle n'a jamais pu arriver à considérer le problème comme pratiquement résolu. Pour se rendre compte des insuccès qu'il a toujours obtenus avec cette disposition, il suffit de remarquer que le point d'attache de la remorque sur le câble tend à se rapprocher du canal avec une force d'autant plus grande que le bateau est maintenu dans sa direction par le gouvernail. La corde de l'arc compris entre ce point d'attache et le point de suspension du câble tend à se placer dans

la direction de la remorque. Au moment où l'attache de la remorque se présente pour franchir la poulie, le câble est appliqué sur une joue de la gorge, de telle sorte que l'attache prend son contact avec cette joue et non

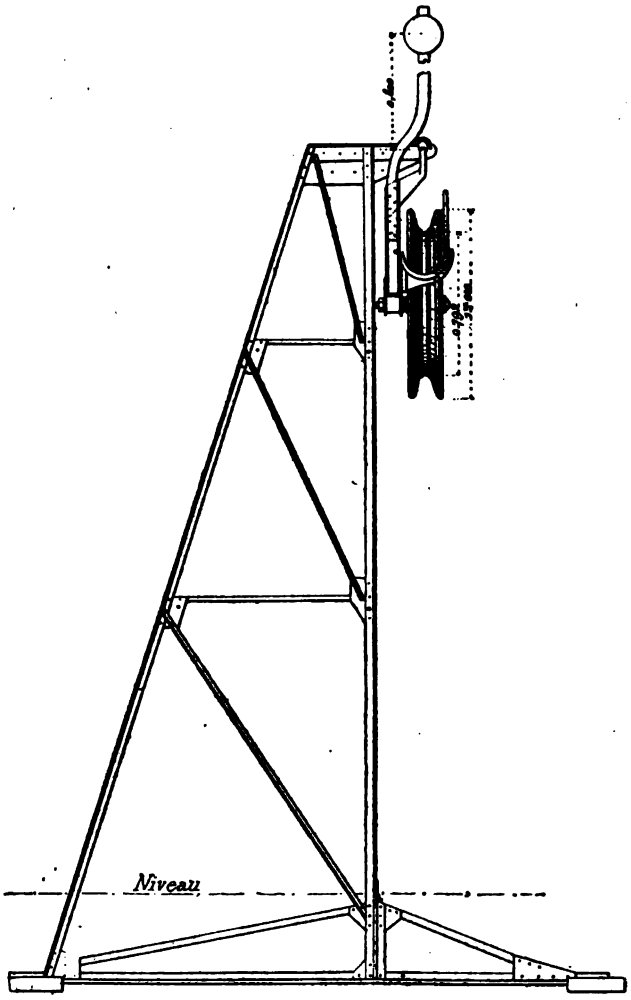


Fig. 1. — Support et poulie. — Elévation de côté.

dans le fond de la gorge, et, comme l'effort a lieu à cet instant dans une direction très oblique, il peut y avoir déraillement, et, en fait, c'est ce qui est toujours arrivé toutes les fois qu'une expérience s'est un peu prolongée.

L'orateur a changé le profil de la gorge des poulies, augmenté la tension du câble, modifié la forme de l'organe qui sert à fixer la remorque au câble en lui donnant à l'avant des formes tendant à maintenir le câble dans le fond de la gorge; il a encore cherché à rendre la sortie impossible en disposant deux rouleaux destinés à l'emprisonner. Tous les expédients que l'expérience suggérait n'ont pu fournir une solution certaine, et M. Oriolle

a été amené à reconnaître qu'il était extrêmement difficile, sinon impossible, avec un câble modérément tendu, d'opérer un remorquage sans déraillement, si les poulies de support ont leurs axes invariablement fixes,

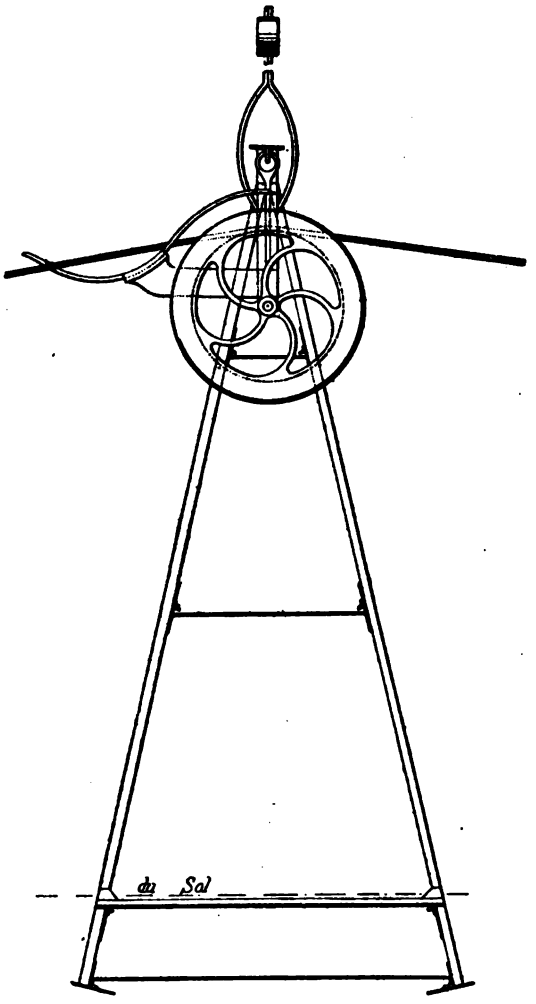


Fig. 2. — Élévation de face.

quelque bien réglée que soit la direction de ces axes. M. Oriolle a été ainsi conduit à adopter pour les poulies un mode de suspension représenté par les figures 1, 2 et 3 ci-contre, qui permet au plan de la poulie de se mouvoir dans tous les sens et à son axe de prendre toutes les directions possibles, de telle façon que la direction de l'effort se trouve toujours dans le plan de la poulie, et que le câble reste au fond de la gorge.

Dès 1884, les essais faits d'après ce principe avaient amené l'orateur à la conviction qu'il avait trouvé la véritable solution. Ce résultat est obtenu de telle sorte que le câble sans fin absorbe par son propre travail la moindre

force motrice possible; c'est une condition indispensable pour sa durée et pour l'abaissement du prix de revient de l'installation, et, par suite, du coût de la traction.

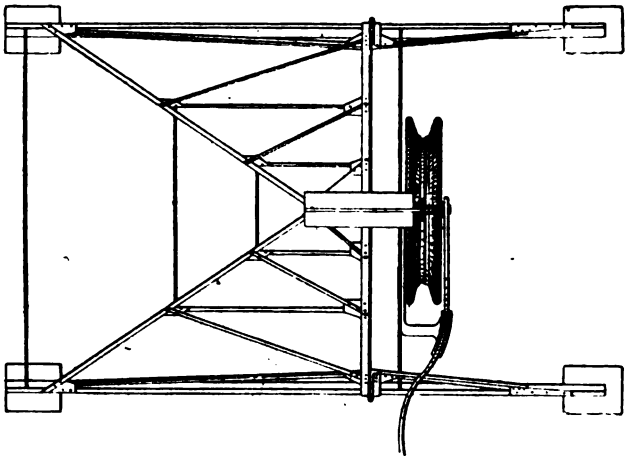


Fig. 3. — Support et poulie. — Plan.

b. *Attache de la remorque au câble.* — En commençant ses essais, M. Oriolle croyait pouvoir se servir d'un simple crochet, l'obliquité de l'effort par rapport à la direction du câble devait le faire mordre quand on

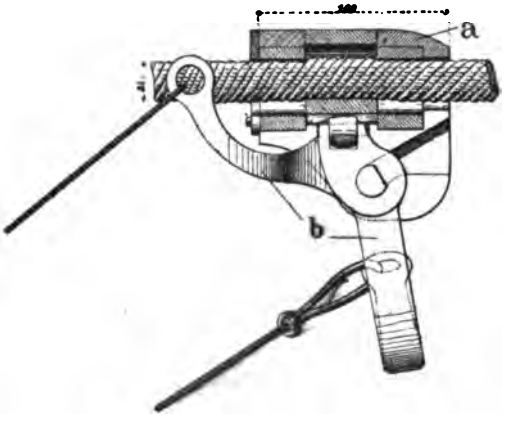


Fig. 4. — Menotte.

tendait la remorque; l'effet inverse, c'est-à-dire le mollissement de l'amarre, devait suspendre l'entraînement. Mais les choses ne se sont pas passées aussi simplement et l'orateur a été amené de suite à constater que le câble en marche prend un mouvement de rotation, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, lequel provoque l'enroulement de la remorque, et il

ne lui a pas été possible de reconnaître à ce mouvement une loi assez déterminée pour chercher un remède dans des dispositions mécaniques particulières. Afin de pouvoir poursuivre ses essais, il a alors muni le câble d'un certain nombre de colliers fixes sur lesquels venait buter un

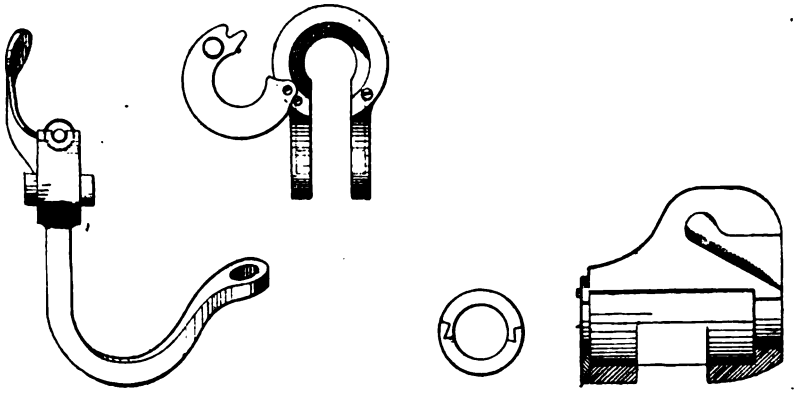


Fig. 5.

Élévation transversale de la pièce *b*. — Vue arrière de la pièce *a*. — Section d'une bague. — Coupe longitudinale de la pièce *a*.

anneau brisé entourant le câble et portant la remorque par l'intermédiaire d'un crochet à déclic. Le batelier pouvait ainsi s'arrêter sans quitter son

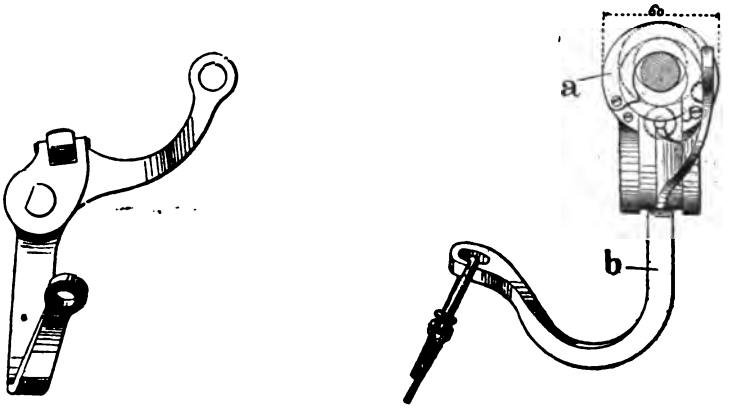


Fig. 6.

Élévation longitudinale de la pièce *b*. — Élévation transversale.

bateau, mais il ne pouvait se remettre en route sans le concours d'un homme à terre. Cette solution était insuffisante. Dans les essais actuels, la menotte destinée à relier la remorque au câble (figures 4, 5, 6) se compose d'une douille métallique fendue longitudinalement pour s'engager sur le câble. Dans cette douille sont logées trois bagues. Un levier d'attache

à deux branches porte par son axe sur deux appendices de la douille. La remorque et la cordelette de déclenchement sont fixées aux branches de ce levier. Le fonctionnement de cet appareil est très simple : une tension de la remorque détermine l'appui du galet sur la bague médiane, et par suite donne lieu à un coincement du câble entre les deux bagues extrêmes, effort qui entraîne la menotte avec une force proportionnelle à la tension. Si l'on tire sur la cordelette de remorque fixée au levier, les trois bagues se replacent dans le prolongement l'une de l'autre, laissant glisser le câble qui devient indépendant de la menotte.

Comme on le voit sur la figure, le mouvement de rotation que prend

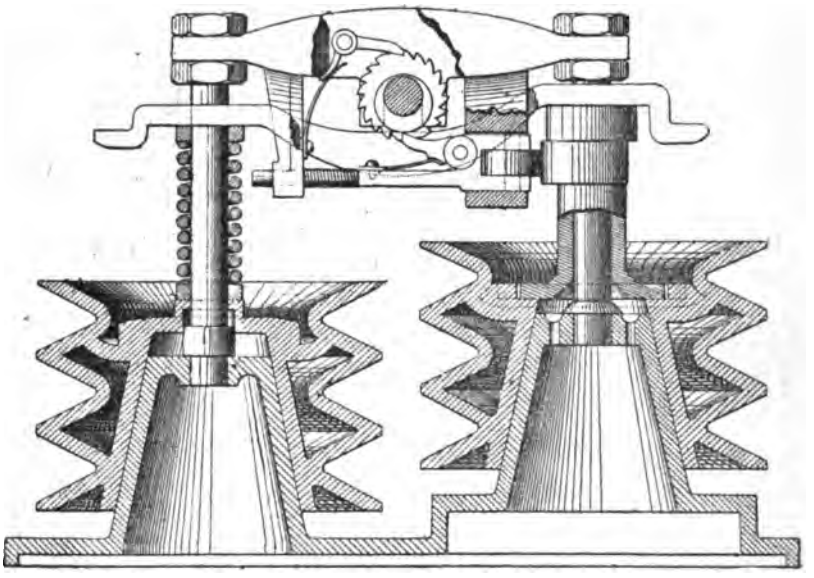


Fig. 7. — Boulard. — Élévation et coupe longitudinale.

toujours un câble, animé d'un mouvement de translation, peut s'effectuer librement, sans amener l'enroulement de la remorque, par l'effet du jeu laissé aux bagues dans leur logement.

La menotte peut, quels que soient les efforts de la direction de la remorque, passer au fond de la gorge des poulies sans faire dérailler le câble. A cet effet, une pièce métallique, nommée pare-menotte, ayant la forme d'une spire allongée, est fixée à la chape de la poulie; elle est destinée à relever le levier de la menotte de façon que la douille vienne se présenter sur la gorge. Cette pièce est aussi destinée à rejeter vers le canal les remorques et à les empêcher de s'engager dans la gorge de la poulie, ce qui amènerait le bateau sur la berge.

Cet appareil satisfait, comme on le voit, aux conditions énoncées plus haut.

M. Oriolle n'est arrivé à cette disposition qu'après des essais réitérés. Il avait d'abord muni la menotte d'un bec en forme de soc de charrue facilitant et réglant son entrée dans la gorge de la poulie et la présentant toujours dans une position déterminée. Ce n'est que plus tard qu'il a pensé à munir chaque poulie d'un organe fixe à demeure et produisant le même résultat.

c. *Attache de la remorque au bateau.* — L'effort nécessaire au halage d'un même bateau varie à chaque instant du parcours dans des proportions considérables. Il n'y a pas seulement à tenir compte de la nécessité

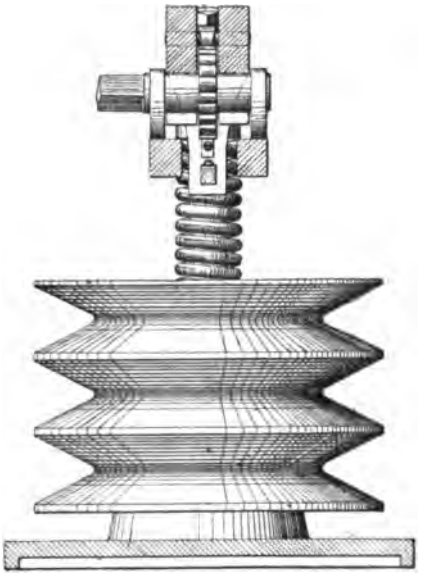


Fig. 8. — Coupe transversale.

d'opérer progressivement le démarrage d'une péniche. L'entrée dans les écluses, le passage dans les parties rétrécies, dans les courbes, sur les hauts fonds, etc..., donnent lieu à des accroissements d'efforts qui, si l'on ne prenait des précautions spéciales pour en atténuer les effets, changeraient brusquement la tension du câble et de la remorque et compromettraient leur durée.

Pour se rapprocher autant que possible des conditions réalisées dans la traction du cheval qui donne des efforts variables et proportionnés aux résistances, M. Oriolle a interposé, entre la remorque et le bateau, un appareil auquel il a donné le nom de boulard, par analogie avec le terme employé par les mariniers pour désigner les bittes d'amarrage fixées sur chaque bateau. Ce n'était au début qu'un simple treuil à frein destiné à permettre au bateau de prendre graduellement sa vitesse d'entraînement. Il fallait pour cela employer des remorques très longues.

L'appareil a été modifié en rendant le serrage progressif, de telle façon que, nul au début, il atteigne 500 kilogrammes et plus, si l'on veut, lorsqu'il a laissé filer 5 à 6 mètres de remorque. A partir de ce moment, la remorque est immobilisée à moins qu'un effort supérieur à celui pour lequel l'appareil est réglé ne vienne à se produire. Préoccupé enfin des avaries qui peuvent survenir si le bateau éprouve une brusque résistance, l'orateur a disposé l'appareil de telle sorte que le déclenchement automatique de la remorque s'opère si cette condition venait à se présenter.

Cet appareil, représenté figures 7 et 8, se compose de deux bittes à gorge en fonte, disposées chacune sur un pivot tronconique venu de fonte avec le socle de l'appareil. La corde de remorque est enroulée autour des bittes. Au moment du démarrage, la corde se déroulera sur les bittes en faisant tourner celles-ci. Dans ce mouvement, les bittes se trouvent progressivement serrées sur leur pivot. Cette pression s'opère graduellement à chaque tour. Après neuf tours la pression est telle que les bittes cessent de tourner sous l'effort ordinaire d'entraînement. La traction, nulle au début, atteint graduellement le maximum nécessaire au halage. On réalise ainsi, enévitant de donner au câble une surtension dangereuse, les desiderata signalés plus haut. On évite en même temps l'usure de la remorque, et cette considération n'est pas sans importance, la remorque appartenant aux mariniers. Le boulard sert aussi à éviter les à-coups qui se produiraient si l'effort de traction, pour une raison quelconque, échouage, talonnement, venait à subir une augmentation anormale. Dans ce but, la cordelette de remorque est fixée à un levier faisant partie du boulard. Si l'effort de traction vient, pour une raison quelconque, à augmenter brusquement et à dépasser le maximum prévu, les bittes sous cet effort se remettent à tourner, et la remorque file; la cordelette de remorque, entraînée par le câble, se tend, et, agissant sur le levier, rend les bittes indépendantes de leur pivot sur lequel elles tournent librement. La remorque file librement pendant que la cordelette de remorque fixée au levier se tend et produit le déclenchement de la menotte.

Les deux appareils que M. Oriolle vient de décrire lui semblent indispensables et il ne saurait concevoir sans eux une application pratique d'un procédé de halage par câble télédynamique. Il convient d'ajouter que la rusticité et le bas prix de ces appareils sont des conditions nécessaires pour en faire accepter l'emploi par les mariniers. On ne saurait faire entrer dans le domaine d'une exploitation industrielle pratique des engins qui viendraient bouleverser les habitudes et la routine invétérées de la batellerie. On peut déplorer ce fait, mais il faut le subir comme une nécessité.

Le halage des bateaux est effectué à l'aide d'un câble sans fin actionné par un moteur fixe, et dont les deux brins marchent le long des berges dans l'une et l'autre direction. Sur une section supposée rectiligne le câble affecte la figure d'un rectangle. Aux quatre angles de la section sont établies

des poulies de renvoi horizontales. Les deux brins longent le bord du canal à l'extérieur du chemin de halage, de façon à le laisser libre, et sont supportés par des poulies montées sur des supports espacés de 60 mètres environ. Ces supports, représentés par les figures 1, 2 et 3, ont été étudiés dans le but de présenter, avec une grande légèreté, toute la résistance nécessaire, et d'offrir, par leur forme même, une stabilité suffisante permettant d'éviter des fondations en maçonnerie qui peuvent, dans certains terrains, être relativement difficiles et coûteuses. Les dispositions adoptées dans ce but peuvent, du reste, être quelconques, et n'ont aucune influence sur le fonctionnement du système.

Ces dispositions générales s'appliquent à toutes les parties d'un canal où le tracé en alignement droit et le parallélisme des berges permettront d'établir le câble suivant une ligne droite en plan et en profil. Les accidents qui se rencontrent dans le tracé d'un canal, courbes, élargissements, écluses, ponts, etc..., nécessiteront, pour être franchis, que l'on fasse subir à ces dispositions générales de légères modifications. A chaque cas particulier correspondra une solution d'espèce qui ne sera jamais ni coûteuse, ni compliquée. La section choisie pour les expériences présentes réunit, sur son parcours, toutes les difficultés que peut offrir l'exploitation d'un canal. La description sommaire de l'installation du système sur cette section montrera d'ailleurs quelles peuvent être ces solutions.

Les essais doivent avoir lieu sur une partie du canal de Saint-Quentin située près de Tergnier.

La longueur de la section est de 3 kilomètres environ. Sur ce parcours, on rencontre trois écluses, deux ponts, deux courbes dont l'une n'a que 100 mètres de rayon. Enfin le câble doit franchir le canal de La Fère à sa jonction avec le canal de Saint-Quentin.

Les abords des écluses présentent à l'amont et à l'aval, sur la rive, un élargissement de 4 mètres à $4^{m},50$ constituant un garage. Le chemin de halage se trouve ainsi suivre une ligne brisée. Pour éviter d'infléchir sans nécessité le câble, ce qui conduirait à augmenter l'effort que le moteur devrait produire pour l'entraîner, on est conduit à employer en ces points des supports spéciaux. Les supports adoptés pour les essais sont des potences en fer dont le pied est implanté à l'extérieur du chemin de halage. Le câble se trouve ainsi suspendu en porte-à-faux, de façon à laisser la circulation s'effectuer librement, la poulie qui le porte étant maintenue dans l'alignement des poulies voisines de part et d'autre. Les ponts sont situés, pour la plupart, sur la tête aval de l'écluse, de telle sorte que le câble surélevé à l'amont doit plonger sous une très forte inclinaison pour passer sous l'obstacle. Son guidage est assuré par des poulies en fonte disposées contre les culées du pont. Les courbes nécessitent des dispositions spéciales.

Sur la courbe extérieure l'effort d'entraînement tend à rapprocher le câble du canal et il est nécessaire d'employer des supports plus stables et

plus résistants; l'expédient adopté, dans l'espèce, consiste à suspendre la poulie à de fortes pièces de bois reliées aux arbres qui croissent sur la berge du canal. Sur la courbe intérieure il se produit un effort inverse, et le câble tend à s'écarter de la berge. Les poulies sont, dans ce cas, encadrées entre deux galets à axes verticaux portés par des chevalets en fer, destinés à s'opposer à cet effort.

Le câble doit traverser le canal de La Fère en laissant au point le plus bas une hauteur libre de 5 mètres, de telle sorte que la circulation sur ce canal ne soit pas entravée. Pour satisfaire à cette condition, il suffit d'employer des supports plus élevés. Ce n'est qu'une question de dépense peu importante par rapport à l'ensemble des autres frais d'établissement.

La machine motrice et les poulies d'entraînement sont installées sur la rive gauche, près de la première écluse. Le moteur est une locomobile de 35 chevaux environ.

Pour compléter l'exposé succinct qu'il vient de faire, M. Oriolle dit quelques mots de ce que peut être l'exploitation de ce mode de halage sur un canal, et des engins nécessaires à cette exploitation.

Pour que le problème, qui consiste à remplacer les moteurs animés, hommes ou chevaux, par des engins de traction mécanique, puisse être considéré comme pratiquement résolu, il faut que ces engins satisfassent à la condition suivante :

Le prix de revient de l'installation et la dépense d'entretien doivent être assez bas pour permettre une diminution dans les prix actuels de la traction.

Voici comment, avec les engins qui viennent d'être décrits, on peut concevoir que se fera l'exploitation d'un canal par ce système.

A l'entrée du canal, le batelier reçoit un boulard qui est placé sur le pont et fixé à une bitte d'amarrage. Chaque circuit du câble forme une section. Un ouvrier attacheur se tient à l'entrée de chaque section et dispose toujours à l'avance plusieurs menottes; il accroche sans retard la remorque et la cordelette de remorque du bateau qui se présente. Le batelier manœuvre dans la section, comme il a été dit. A la sortie, un autre ouvrier décroche les cordes de remorque et les fixe de nouveau à une menotte qu'il a apprêtée sur la section suivante et ainsi de suite. Le même ouvrier assure ainsi la sortie du bateau d'une section et son entrée dans la suivante.

M. Oriolle termine son exposé en adressant ses vifs remerciements à M. Derome, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dont les conseils et les encouragements lui ont été d'un précieux secours pendant la durée de ses études.

La parole est donnée à M. Knezevich, qui fournit sur le projet du quai de Belgrade les renseignements suivants :

L'emplacement du quai se trouve situé sur la rive droite de la Save à

son embouchure dans le Danube. La forme concave de la rive est très avantageuse, puisque le courant d'eau est assez fort pour qu'on n'ait pas à craindre la formation de bancs de sable.

Le sondage exécuté avant la construction du grand pont situé sur la Save pour le chemin de fer reliant la partie autrichienne à la partie serbe a permis de constater qu'il fallait descendre jusqu'à 13 mètres de profondeur pour trouver une couche capable de résister à la pression calculée.

Les couches, dont se compose le terrain jusqu'à la profondeur ci-dessus mentionnée, sont formées de sable mêlé de terre et de sable mêlé avec de la terre glaise.

Les finances du pays ne permettant pas les gros sacrifices qu'entraînerait la construction d'un quai de 13 mètres de hauteur, M. Knezevich a élaboré un projet de quai en bois qu'on pourra plus tard, quand les ressources du pays le permettront, remplacer par un quai en maçonnerie.

Le projet comprend :

a. La construction du quai proprement dit et la consolidation de la rive droite;

b. La construction des magasins sur les quais;

c. L'établissement de la voie ferrée qui les dessert.

Le quai se compose de deux parties : le haut quai établi à la cote 74.50 (0^m,30 au-dessus des plus hautes eaux) et le quai moyen à la cote 71, celle des eaux moyennes. Sur le haut quai le chargement et le déchargement se font avec des grues, sur le quai moyen, par l'intermédiaire d'un pont dont une extrémité est fixe et l'autre peut s'élever, de la cote 68,50 (cote des plus basses eaux de navigation) à la cote 71 (cote des eaux moyennes). Pour la détermination des dimensions du mur-pilotis dont se compose le haut quai, l'élément important est la différence des plus hautes et des plus basses eaux; cette différence est de 8^m,00 (74^m,20 — 66^m,20). Cette énorme hauteur de pression et la nécessité de donner aux pilotis une longueur de 18 mètres a conduit à faire un petit quai devant le haut quai pour diminuer la pression.

Par cette combinaison, la différence de pression se trouve réduite à la hauteur de 5^m,5. Sans entrer dans plus de détails, l'orateur se borne à constater que par suite des deux appuis, qui sont attachés par des pièces en fer rondes aux pilotis d'arrière, il a pu adopter des dimensions assez faibles. Il a donné 30 centimètres de diamètre aux pilotis d'avant et à ceux d'arrière auxquels les premiers sont attachés.

La construction, aussi bien que les dimensions des pièces, sont indiquées sur un dessin (type du profil en travers) mis sous les yeux du Congrès et n'ont pas besoin d'être plus spécialement expliquées.

Le petit quai est placé à la cote 69 dans le but de faire descendre les pilotis aussi bien que la file de palplanches jusqu'aux cotes 60,50 et 62. La composition des différentes pièces et leurs dimensions sont indiquées sur le type.

Les magasins sont divisés en trois catégories :

3 magasins du petit quai dont les dimensions sont : longueur, 40 mètres ; largeur, 12 m. 5 ; hauteur, 4 mètres.

6 magasins pour les entrepôts : longueur, 60 mètres ; largeur, 16 m. 5 ; hauteur, 6 m. 5 ; il y a un étage chargé de 1200 kilogrammes par mètre carré ; au rez-de-chaussée la charge est portée à 1500 kilogrammes par mètre carré.

3 magasins pour le transbordement des marchandises : longueur, 50 mètres ; largeur, 16 m. 5 ; hauteur, 6 mètres.

Les magasins pour les entrepôts, ainsi que les magasins de transbordement, sont desservis au rez-de-chaussée, aussi bien qu'au premier, par les grues. La pression sur le fond ne dépasse pas $7^k,95$ par centimètre carré. La voie principale relie les magasins des entrepôts à la station de Belgrade. La longueur totale des rails est de 6 300 mètres.

M. Böhches, secrétaire de la Société du Danube (*Donau-Verein*) à Vienne (Autriche), demande à appeler l'attention du Congrès sur une question assez importante, rentrant suivant lui dans le domaine de la IIe Section. Cette question touche à la concurrence de la navigation et des chemins de fer.

On critique amèrement les dépenses faites pour les travaux hydrauliques, en les qualifiant d'improductives et de moyens aptes à nuire aux intérêts des chemins de fer existants. Voilà une opinion émise non seulement en France, le pays possédant une navigation intérieure des plus développées, mais aussi dans les pays étrangers, où il y a beaucoup de chemins de fer et fort peu de voies navigables. Or, cette opinion défavorable aux cours d'eau n'est nullement fondée. Il suffit, pour le démontrer, de se reporter aux chiffres incontestables de la statistique française, qui démontrent péremptoirement que les deux voies rivales peuvent vivre et prospérer côte à côte et qu'elles sont appelées à concourir vers un même objet, la prospérité des régions qu'elles desservent. C'était dans le même sens que les éminents délégués du gouvernement français, parmi lesquels MM. Boulé, Hirsch et de Mas, lors des congrès internationaux de la navigation intérieure à Vienne (1886) et à Francfort-sur-le-Mein (1888), se sont prononcés en faveur des voies navigables.

Vu ce fait, il paraît utile d'éclairer le public sur la fausseté de l'opinion émise à ce sujet, et l'orateur pense qu'il serait important que le Congrès de l'utilisation des eaux fluviales de Paris, émette également un vote à l'avantage des cours d'eau navigables. Ce vote aura d'autant plus de valeur que la France, travaillant depuis deux siècles au développement des cours d'eau, est appelée en premier lieu à émettre son avis sur la question en litige.

Il propose en conséquence à l'assemblée, sans énumération détaillée des arguments à l'appui, l'approbation du vote ainsi conçu :

1° La voie d'eau navigable étant destinée surtout au transport des matières premières et des articles de consommation générale ne porte

aucun préjudice aux intérêts de la voie ferrée qui transporte de préférence des produits fabriqués.

2° Le complément du réseau de lignes de chemins de fer existantes dans un pays par un réseau bien entendu de cours d'eau navigables, augmente les voies de communication dans l'intérêt du commerce et de l'industrie et sert par là au développement de la richesse nationale.

M. le Président fait observer que le Congrès ne peut, aux termes du règlement, émettre aucun vote, d'autant plus que la question n'ayant pas été mise à l'ordre du jour, ne saurait être discutée utilement. Sur ce, prennent la parole MM. Peslin, Boulé, Holtz et autres en se prononçant en faveur de la proposition faite par M. Bömches. M. Boulé surtout prend chaleureusement la défense de l'opinion émise par l'orateur, en regrettant qu'il ne se trouve pas dans l'assemblée des ingénieurs de chemin de fer pour discuter avec eux la question soulevée. Il est sûr que les collègues présents partagent sa manière de voir et qu'ils adoptent complètement les idées énoncées par le secrétaire de la Société du Danube à Vienne, qui lui-même est ancien ingénieur des chemins de fer du sud de l'Autriche.

Sur ce, M. le Président déclare que le procès-verbal constatera que la proposition de M. Bömches a été accueillie favorablement par tous les membres présents et que la Section regrette ne pouvoir émettre un vœu favorable à ce sujet, vu les termes du règlement du Congrès.

La parole est donnée à M. Oriolle, pour une communication sur un mode de propulsion des bateaux à faible tirant d'eau dont il est l'inventeur,

L'orateur a beaucoup souffert d'avoir essayé de naviguer sur des rivières à régime très variable comme la Loire. Aussi, en attendant la construction d'un canal qu'on étudie depuis un siècle, il a cherché à résoudre cette question de navigation à faible tirant d'eau.

Jusqu'à ce jour, on n'avait pu, pour la propulsion des vapeurs de très faible calaison, utiliser les hélices à grand diamètre et actionnées par des machines puissantes et à grande vitesse. L'emploi des roues à l'arrière s'imposait forcément, malgré les inconvénients inhérents à ce mode de propulsion ; moteur plus lent, plus volumineux et plus lourd, obligation de placer la chaudière à l'avant et la machine à l'arrière pour faire contrepoids, etc.

Après de longues recherches, M. Oriolle croit être parvenu à résoudre cette difficulté, grâce à une combinaison par laquelle une hélice de grand diamètre et actionnée par une puissante machine tourne dans un siphon ménagé au milieu même du bateau et amorcé par une pompe. L'eau est aspirée par un orifice percé dans le fond plat du bateau en avant du propulseur, qui la refoule vers l'arrière par une ouverture semblable. Le tracé du siphon a été fait de manière à présenter la moindre résistance possible à la circulation de l'eau. L'hélice se trouve ainsi complètement immergée sans qu'une entrée d'eau puisse avoir lieu et travaille uniquement à la

poussée en avant. Il n'y a pas, en effet, de pertes latérales et l'effet utile n'est diminué que par le frottement et la déformation de la veine liquide dans le siphon.

On avait déjà constaté que le rendement de l'hélice est meilleur lorsqu'elle est placée sous une voûte et M. Thornycroft en a tiré parti pour plusieurs torpilleurs qu'il a été appelé à construire pour le gouvernement français. Il était donc permis de penser que le siphon, que l'orateur vient de décrire, devait présenter une certaine supériorité d'utilisation, et c'est ce qu'ont confirmé les essais faits avec le bateau la *Wilhelmine*, construit récemment par M. Oriolle et dont il donne les principales dimensions.

Le bateau mesure 20 mètres de longueur, $3^m,50$ de largeur, $0^m,65$ de creux et cale $0^{mc},25$ de tirant d'eau au repos; son hélice à quatre ailes a $0^m,85$ de diamètre et $1^m,20$ de pas.

Les extrémités du siphon viennent mourir sur le fond plat, de manière à ne présenter aucune discontinuité, à 3 mètres environ en avant et en arrière du propulseur. Un gouvernail à chaque extrémité donne au bateau une grande facilité d'évolution tout en lui permettant de marcher dans un sens ou dans l'autre.

Aux premiers essais, la moyenne de plusieurs parcours le long d'une base de 1850 mètres à Roche-Maurice, près de Nantes, a donné une vitesse de 8 nœuds 15, avec 5 kilos de pression par centimètre carré et à l'allure de 300 tours par minute, la machine développant 40 chevaux indiqués sur les pistons. Avec une pression de 9 à 10 kilos et à l'allure de 450 à 500 tours, on obtient aisément une vitesse de 10 à 11 nœuds à l'heure.

Les principaux avantages de ce mode de propulsion sont les suivants :

L'hélice placée dans le milieu du bateau, sans dépasser le fond, est parfaitement protégée et garantie de tout choc; elle n'est jamais affolée par le tangage; l'espèce de water-ballast formé par le siphon rempli d'eau augmente la stabilité du bateau, l'hélice disposée dans un siphon a un rendement efficace.

M. Labrousse demande à M. Oriolle s'il a fait une étude spéciale de l'inclinaison à donner à l'hélice de son bateau.

M. Oriolle répond négativement et explique qu'il construit actuellement un bateau avec lequel il espère établir sur la Loire, entre Tours et Orléans, un service de voyageurs et de messageries susceptible de lutter avantageusement avec le chemin de fer.

M. Boulé rappelle qu'il existait sur la Seine un toueur calant seulement $0^m,60$. On peut voir à l'Exposition un bateau venu de Dôle à Paris qui fait, dit-on, 12 kilomètres à l'heure et a $0^m,40$ de tirant d'eau. Le toueur automoteur de M. Perin mérite également d'attirer l'attention des membres du Congrès.

M. le Président constate que la Section de navigation est arrivée au terme de ses travaux et lève la séance à onze heures.

DEUXIÈME SÉANCE GÉNÉRALE

Vendredi 26 juillet.

La séance est ouverte à une heure, sous la présidence de M. le docteur Russ.

M. de Goldschmidt, à qui la parole est donnée, fait remarquer que l'article 7 du règlement dit que le Congrès comprend des séances générales et des séances de Section; mais il ne dit pas que des rapports doivent être présentés au Congrès réuni en assemblée générale. On a peut-être cru que chaque Section présenterait à la séance générale un rapport sur l'ensemble de ses travaux; peut-être aussi, se basant sur ce qu'aucune résolution ne devait être votée par le Congrès, on a cru que chaque Section ayant terminé ses travaux, on n'y reviendrait plus à la séance générale. Il y a donc là une petite lacune. Le bureau de la deuxième Section a pensé que l'Assemblée générale aurait le plus grand intérêt à prendre au moins connaissance de ce qui s'est fait dans les deux Sections. Il est donc utile que chaque Section présente un rapport. La deuxième Section est déjà prête à présenter le sien.

M. Gauckler dit que la première Section n'a pu achever ses travaux, malgré tout le zèle qu'elle y a apporté; elle aura encore besoin de la journée de demain.

Après une discussion à laquelle prennent part MM. Labrousse, Gauckler, Carlier, Guillemain et Foulard, le Congrès décide qu'il entendra demain en séance générale les procès-verbaux des deux Sections, mais que les questions qui auront été discutées dans les Sections ne pourront plus l'être dans l'Assemblée générale.

M. le docteur Russ, président, donne lecture d'une dépêche de M. Lechner, conseiller ministériel et directeur des travaux publics de Buda-Pesth, qui regrette au dernier moment d'être retenu par une indisposition. Il donne communication d'une lettre de Mme Alexis Damet qui, en l'absence de M. Damet, remercie le Congrès de vouloir bien aller visiter son bateau sur la rive gauche du pont d'Iéna. Il donne la parole à M. Labrousse pour une communication qui ne rentre dans le programme d'aucune des deux Sections du Congrès.

M. Labrousse rappelle que le Congrès a visité la veille le barrage de Suresnes, qui offre le résumé des progrès faits pour retenir les eaux à une grande hauteur. Ne serait-il pas possible d'utiliser la force motrice créée par ce barrage?

M. Labrousse ne parle pas en ingénieur, mais en contribuable. On a, pour un pareil ouvrage, dépensé une certaine somme; ne serait-il pas utile de récupérer cette somme par la puissance que l'on a engendrée? Ne pourrait-on pas, dans l'avenir, faire une étude préalable, et créer un débit de force motrice comme on en voit dans certains points de la banlieue de Paris? On pourrait ainsi arriver à mettre à la disposition des riverains des groupements de cinquante chevaux.

M. Lindley fait remarquer que l'on a calculé que la France perd des milliards en n'utilisant pas toute la force motrice dont elle pourrait se servir. On a fait le même calcul pour les barrages établis à Francfort. On a même calculé les millions qui se trouvent dans le sable du Rhin, mais l'étude montre que l'extraction de l'or qui y est contenu coûterait un franc par chaque centime à obtenir; et l'on a été conduit à cette conclusion que ces forces qu'on croit à première vue être de grande valeur sont loin de l'être en pratique. Les barrages sont soumis à toutes sortes d'éventualités: L'hiver venu, les glaces les paralysent; dans d'autres moments, l'eau doit être réservée pour des besoins plus impérieux. Le résultat est qu'on se trouve forcé de constituer des réserves très grandes pour se procurer la force motrice dans les périodes où le barrage est baissé. Peut-être, sur certains points, cette organisation coûterait-elle un peu moins, à l'heure, qu'une machine à vapeur, mais la différence est si faible, surtout avec la machine à vapeur actuelle, qu'il est inutile d'en tenir compte.

La machine à vapeur donne aujourd'hui de la force à bon marché. Il vaut donc mieux se servir de la machine qui exige un capital très faible et dont les frais sont également minimes, que de placer de grands capitaux dans les turbines et dans les développements qu'on est obligé de donner aux barrages pour obtenir la force motrice. C'est pour ces motifs que des forces motrices qui, à première vue, paraissent très grandes, ne sont pas utilisées davantage.

M. Labrousse rend justice aux observations de M. Lindley. Il croit pourtant que dans l'avenir les populations industrielles se grouperont autour des barrages, de même que l'on se groupe autour des gares de chemins de fer. S'il est difficile, quand il n'y a pas de populations industrielles autour du barrage, de distribuer de la force motrice, ce sera très facile quand il y aura tout autour un groupement industriel ayant déjà ses machines à vapeur, et on pourra alors vendre à ces industriels, quand les eaux seront favorables, une force motrice qui coûtera très peu, et lorsque les eaux ne seront pas assez fortes, les machines à vapeur préexistantes viendront suppléer les moteurs hydrauliques.

M. Boulé dit que cette question très intéressante le préoccupe depuis

trente-trois ans qu'il est attaché au service de la navigation de la Seine. A ce propos, il a publié un mémoire dans les *Annales des Ponts et Chaussées* où il faisait allusion à l'utilisation des chutes de barrages de la Seine.

Utiliser les chutes, c'est très intéressant. On entend dire souvent que les forces naturelles sont des forces gratuites. C'est une grande erreur; il faut les aménager. Pour utiliser le barrage de Suresnes il faudrait créer une usine qui coûterait fort cher. Il y aurait d'ailleurs de très grandes difficultés. Tout d'abord pour faire une usine hydraulique il faut y amener l'eau et la renvoyer à l'aval. Il faut donc un canal d'amenée et un canal de fuite. Sur la rive droite de Suresnes se trouve le bois de Boulogne, et la ville de Paris ne donnerait jamais l'autorisation d'y faire quoi que ce soit. Sur l'autre rive il y a des maisons, il y a des écluses, des garages en amont et en aval pour les trains de bateaux conduits par remorqueurs ou par toueurs. Il serait difficile de faire un canal de fuite à travers la ville de Suresnes au milieu des maisons.

M. de Raeve fait connaître qu'en Belgique la question a été examinée. Tout récemment, des demandes ont été faites en vue de pouvoir utiliser les chutes ou barrages. Le Gouvernement, après examen de ces demandes, a reconnu qu'elles étaient absolument contraires aux intérêts des rivières et qu'il fallait les rejeter. On en arrive même à acheter les anciennes usines pour les démolir.

M. le Président donne la parole à M. le général Tcheng-Ki-Tong, pour une conférence sur l'*Utilisation des eaux en Chine*.

(Voir cette conférence, p. 309.)

Après cette conférence, fort applaudie, M. le Président se déclare l'interprète du Congrès tout entier en félicitant le général et en lui présentant ses remerciements pour la conférence si remarquable qu'il a bien voulu faire. Elle est pleine d'intérêt historique et de détails charmants qui rappellent constamment le spirituel auteur des *Contes chinois*.

La séance est levée à quatre heures.

SÉANCE DE CLÔTURE

(GÉNÉRALE)

Samedi 27 juillet.

La séance est ouverte à deux heures sous la présidence de M. Guillemain, qui donne la parole à M. Caméré pour sa conférence sur l'historique des améliorations successives de la navigation de la Seine.

(Voir cette conférence, page 327.)

M. le Président se déclare l'interprète du sentiment général en remerciant M. Caméré de tous les documents qu'il a bien voulu mettre sous les yeux du Congrès, et qui montrent quels peuvent être les progrès de la navigation d'une rivière lorsque l'amélioration est confiée à des hommes de la valeur de ceux qui ont transformé la Seine. (*Applaudissements.*)

Il donne la parole aux secrétaires des Sections pour la lecture des procès-verbaux.

(Ces procès-verbaux sommaires sont le résumé de ceux qui précèdent, pages 367 à 544. Ils ont été imprimés et distribués aux membres du Congrès dans le mois de septembre, en exécution de l'article 13 du Règlement.)

M. le Président remercie les secrétaires d'avoir bien voulu préparer ce compte rendu provisoire. Si quelqu'un trouvait que sa pensée n'est pas bien rendue, il serait prié de vouloir bien s'entendre avec les secrétaires. Il fait connaître que le lendemain, dimanche 28 juillet, il sera possible de visiter les écluses de Bougival. Les ingénieurs de la Seine chargés d'accompagner les membres du Congrès partiront de la gare Saint-Lazare à 1 heure 30. Les membres du Congrès qui désireront les accompagner pourront se joindre à eux.

M. le Président annonce que les procès-verbaux des séances générales et des séances de Sections seront imprimés dans le même format que les rapports et distribués aux membres du Congrès conformément à ce qui est prévu par l'article 14 du Règlement. Il clôt les séances du Congrès par l'allocution suivante :

« Messieurs,

« Vous avez entendu le résumé des discussions qui ont eu lieu au « sein des sections du Congrès; vous avez pris connaissance des remar- « quables rapports qui leur ont servi de point de départ; et chacun de « vous a pu se faire une opinion sur la solution à donner aux questions « traitées, suivant les circonstances particulières du milieu où elles se « posent pour chacun de nous.

« L'article 12 de notre règlement stipule que nous n'avons aucune « conclusion à voter; nous pouvons donc limiter ici notre tâche, et nous « épargner la lourde responsabilité d'une décision toujours grave à « prendre en semblable matière, et qu'on ne pourrait d'ailleurs formuler « que sous de nombreuses réserves.

« C'est qu'en effet, Messieurs, les entreprises qui nous paraissent le « mieux conçues, celles qui semblent les plus rationnelles, les plus « sûres, ont besoin, pour arriver à bien, d'éléments de succès qui sont « loin d'être toujours à la disposition du promoteur de l'idée. Les grandes « questions qu'on a fait passer sous nos yeux et qui donnent naissance « à des projets aussi variés que séduisants ne peuvent se réaliser qu'à « l'aide de capitaux immenses; et ces capitaux ne peuvent être obtenus, « de nos jours, qu'avec le concours de l'opinion publique. Or, l'opinion « publique est un juge quelquefois sage, plus souvent passionné et « influencé par des considérations secondaires ou personnelles; pour « lui faire accepter une partie du programme le mieux étudié, il faut « fréquemment entrer dans la voie des concessions; il convient, par « suite, de ne pas s'être engagé trop à fond dès le début.

« Dans les questions purement techniques elles-mêmes, ne nous « sommes-nous pas trouvés, les uns et les autres, en face de droits ou « d'intérêts à respecter, d'habitudes invétérées qu'il serait dangereux de « heurter, et de difficultés de détail qui ne se révèlent qu'au moment de « l'exécution?

« Enfin, pourquoi n'en conviendrions-nous pas, dans toutes ces conceptions où l'on est forcé de préjuger l'avenir, il est aisé de s'illusionner. « Ceux-là seuls qui ne font rien, dit un vieux dicton français, ne se « trompent pas. » Et plus on est jaloux de marcher dans la voie du progrès, plus on reconnaît le danger des jugements trop absolus, plus il est « permis, dans ces matières où la conscience n'est pas en jeu, de subordonner son opinion à l'étude de chaque cas particulier.

« Nous pouvons donc sans regret, Messieurs, ne pas conclure. Chacun « de nous emporte une impression que la réflexion pourra confirmer ou « modifier, mais qui lui servira à asseoir son jugement au mieux des « intérêts qui lui sont confiés. Nous avons fait une enquête, rien de plus; « mais l'autorité qui s'attache aux dires de chaque déposant, l'intérêt « puissant que présentent les communications reçues et les discussions « qui les ont suivies, constitueront des guides précieux qui doivent

« s'accepter, non en vertu d'un vote de majorité, mais par la valeur des « règles invoquées et la possibilité de les adapter à chaque cas parti- « culier. S'il est un sujet sur lequel l'éclectisme soit permis, c'est assu- « ment celui qui nous a réunis.

« Sous ce rapport, Messieurs, notre Congrès n'aura peut-être pas été « sans fruit. Nous avons vu passer sous nos yeux les questions techni- « ques qui préoccupent aujourd'hui tous ceux qu'intéresse la navigation « intérieure : la régularisation des cours d'eau, leur canalisation, le « mode de traction des bateaux et l'influence de leurs formes, les « appareils à utiliser pour franchir les grandes chutes, en un mot, un « ensemble de problèmes pour lesquels l'Angleterre, l'Allemagne, la « Belgique, la Hollande, les États-Unis, la Suisse et la France ont indiqué « des solutions. Nous avons même suivi au point de vue expérimental « l'historique des transformations successives qu'entraîne sur une rivière « comme la Seine l'accroissement du trafic.

« Dans un ordre d'idées plus restreint, mais plus important peut-être, « parce qu'il touche directement à la santé des populations, on a savam- « ment développé devant nous des méthodes perfectionnées qui sont de « nature à propager dans nos cités l'emploi de cet élément capital de « l'hygiène, une eau saine et abondante.

« En ce qui concerne l'aménagement des eaux, nous avons étudié « d'abord les droits collectifs et individuels sur cette partie de la fortune « publique; puis nous avons passé en revue l'Espagne et les belles créa- « tions auxquelles elle doit sa vie agricole, l'Égypte avec ses souvenirs « et les travaux récents qui vont développer sa fécondité légendaire, l'Inde « dont les traditions viennent de prendre une vitalité nouvelle et bienfai- « sante, l'Afrique où le chemin du Sahara s'ouvre sous l'influence de « l'eau artésienne, l'Amérique qui, fidèle à sa devise : « En avant! », « change en quelques années, avec l'eau et la vapeur, ses déserts en « contrées florissantes. Enfin, et c'est un privilège dont nous pouvons « être fiers, il nous a été révélé, dans une conférence dont le charme est « encore présent à vos esprits, les créations immenses du Céleste Empire, « développées par les efforts successifs d'un grand peuple pendant qua- « rante siècles.

« Ces précieuses données ne s'effaceront pas de votre mémoire et ne « demeureront pas, nous en avons la conviction, inutilisées. Puissent-elles « chez chacun de vous ménager un souvenir pour ceux auxquels vous « avez fait l'honneur de confier la direction de vos travaux, honneur « dont ils vous sont profondément reconnaissants et pour lequel vous « voudrez bien recevoir nos remerciements.

« Messieurs, je déclare clos le Congrès de l'utilisation des eaux flu- « viales. » (*Longs applaudissements.*)

La séance est levée à 4 heures 30.

INDEX ALPHABÉTIQUE SOMMAIRE

Abernethy, 364.
Administration des eaux d'alimentation des villes, 412.
Alimentation des villes en eaux de rivières, 33, 403; — en eaux des dunes, 71; — de la ville de Paris, 408.
Amélioration des rivières navigables à fond mobile, 159, 449.
Améliorations successives de la navigation de la Seine, 327.
Aménagement des cours d'eau à débit intermittent, 382.
Aménagement des cours d'eau au point de vue agricole et industriel, 127, 141, 394.
Aménagement général des eaux naturelles, pour l'irrigation, pour la navigation et en force motrice, 375.
Ascenseurs pour bateaux, 227, 243, 501.
Askenasy, 364.
Avenir des canaux d'irrigation, 3, 15, 371.

Babinet, 365.
Baccarini, 365.
Barois, 141, 394, 396, 399.
Barrage du Haut-Nil, 416.
Barrages mobiles, 178, 192, 468, 482, 484.
Bassins de dépôt, 46.
Bateau à hélice, à faible tirant d'eau, 543.
Bateaux de navigation intérieure, 496.
Beau de Rochas, 382.
Beaurin-Gressier, 277, 366.
Bechmann, 87, 373, 404, 407, 408, 410, 415, 416.
Bergère, 488, 496.
Bœmches, 455, 465, 542.
Bouffet, 399.
Boulé, 467, 471, 472, 501, 528, 543, 544, 546.
Bousigues, 365.

Cadart, 243, 501, 508.
Cahen, 406.
Caland, 365.
Caméré, 327, 482, 549.
Canalisation des rivières, 173, 191, 468, 476.
Canaux, 477, 480.
Carlier, 365, 509, 530.
Carpi, 365.
Concurrence des voies navigables et des chemins de fer, 542.
Consommation d'eau par habitant, 63, 79, 408, 414.
Cotard, 15, 371, 372, 373, 380, 381, 387, 397, 399, 410.
Craighill, 365.

Décantation des eaux, 46.
Deligny, 368, 372, 374, 380, 402, 404, 407, 412, 415, 416.
Delocre, 529.
De Raeve, 365, 449, 455, 472, 489, 496, 528, 547.
Derome, 207, 489, 490, 494, 501.
Dessalement des terres, 398, 399.
Distance d'influence des sondages artésiens, 401.
Droits individuels et collectifs sur les eaux courantes, 277.
Dufourny, 225, 506.

Eaux artésiennes, 97, 388, 401.
Eaux de rivières, 33, 403.
Eaux filtrées pour le sable des dunes, etc., pour l'alimentation des villes, 71.
Eaux potables, 405.
Élévateurs pour bateaux, 243, 501.

Filtrage des eaux, 43, 71, 403.
Flamant, 363.
Fleury, 365.
Forme des bateaux de navigation intérieure, 496.

Foulard, 466.
Fournié, 127, 381.

Gaget, 415.
Gaeckler, 365, 367, 371, 375, 391, 403, 410, 544.
Goldschmidt (de), 365, 488, 544.
Gonin, 365, 511, 514.
Guerreiro, 368, 370, 466, 467.
Guillemain, 363, 549.
Guyot (Yves), 364.

Halage des bateaux par locomotives, 494.
Halage funiculaire, 491, 529.
Holtz, 490.

Irrigations, en Asie centrale, 435; — en Camargue, 397; — au Caucase, 425; — au Chili, 421; — en Chine, 309; — en Crimée, 424; — en Danemark, 443; — en Espagne, 3, 367; — aux États-Unis, 24, 29; — en Égypte, 24, 147, 394, 416; — aux Indes anglaises, 25; — en Italie, 27; — dans les Pays-Bas, 387; — en Portugal, 369; — en Russie, 424; — dans le Sahara, 97, 383, 401; — en Suisse 28; — dans le Transcaucase, 427.

Jacquelin, 452, 471, 476.
Jacquet, 159, 449, 451, 452, 454, 465, 466, 467, 471.

Knezevich, 539.

Labrousse, 490, 493, 544, 545, 546.
Lamal, 364.
Landes du Danemark, 442.
Launay, 365.
Lavollée, 484, 486.
Lévy (Maurice), 486, 491, 493.
Lindley, 33, 365, 371, 373, 374, 386, 387, 396, 402, 403, 406, 407, 416, 546.
Livraison de l'eau à domicile, 82, 87, 410.
Llaurado, 3, 365, 367, 368, 369, 370, 371, 399, 401, 420.
Locomotion des bateaux, 207, 489.
Loppens, 391, 404, 416.
Loureiro, 365.

Mas (de), 486, 496.
Merrill, 486.
Mocquery, 451, 493, 494.
Modes de livraison de l'eau à domicile, 82, 87, 410.
Modes de locomotion des bateaux, 207, 489.
Motte (comte de la), 416.
Musquetier, 71.

Navigation en Autriche-Hongrie, 455; — du Douro, 466; — de l'Ohio, 486; — du Rhône, 160, 449; — de la Seine, 327, 468.
Noel, 402, 404.
Nouailhac-Pioch, 397, 399.

Oriolle, 530, 543.
Ouargla, 121.
Oued-Rir, 105.

Pavie, 191, 365, 484, 486.
Peslin, 494, 500, 501, 509.
Pestalozzi, 365.
Plans inclinés pour bateaux, 246, 259, 510, 511, 514.

Quais de Belgrade, 540.
Questionnaire sur les irrigations, 21.

Réservoirs pour l'alimentation des canaux, 480; — pour les irrigations, 386.
Rolland, 97, 401.
Rouissage à l'eau courante du lin et du chanvre, 391.
Russ (le Dr), 364, 545.

Sahara algérien, 97, 385, 401.
Société des agriculteurs de France, 399.
Souza-Gomès (de), 365, 369.
Tcheng-Ki-Tong (général), 309, 364, 547.
Torricelli, 365.
Tube de propulsion pour plan incliné, 513.
Turrettini, 419.

Usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau, 33, 403, 408.
Utilisation des eaux artésiennes du Bas-Sahara algérien, 97, 401.
Utilisation des eaux du Rhône par la ville de Genève, 419, 483.
Utilisation des eaux en Chine, 309.

Van-Zuylen, 365, 587, 401.
Vauthier, 368, 375, 396, 408.
Vernon-Harcourt, 173, 467, 529.

TABLE DES MATIÈRES

Comité d'organisation du Congrès. I
Liste des membres du Comité de patronage. III
Règlement. IV
Programme des questions traitées au Congrès VIII
Ordre des travaux du Congrès. IX
Liste générale des membres du Congrès. XI

I

Rapports distribués avant l'ouverture du Congrès.

De l'avenir des canaux d'irrigation, par M. de Llaurado. 3
— — — par M. Cotard. 15
De l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau, par M. W. H. Lindley. 33
De l'emploi des eaux filtrées par le sable des dunes, des bruyères et des terrains sablonneux pour l'alimentation des villes dans les Pays-Bas, par M. J. A. E. Musquetier. 71
Du meilleur mode de livraison de l'eau à domicile, par M. Bechmann. . . 87
De l'utilisation des eaux artésiennes du Bas-Sahara algérien, par M. G. Rolland. 97
De l'aménagement des cours d'eau au point de vue agricole et industriel, par M. V. Fournié. 127
De l'aménagement des cours d'eau au point de vue agricole et industriel, par M. Barois. 141
De l'amélioration des rivières navigables à fond mobile, par M. Jacquet. . 159
De la canalisation des rivières et des divers systèmes de barrages mobiles, par M. Leveson-Francis Vernon-Harcourt. 173
De la canalisation des rivières et des divers systèmes de barrages mobiles, par M. Pavie. 191
Des meilleurs modes de locomotion des bateaux sur les canaux et les rivières canalisées assimilables aux canaux, par M. Derome. 207
Quelques données et résultats pratiques sur les ascenseurs belges, par M. Dufourny. 225
Des élévateurs et plans inclinés pour bateaux, par M. G. Cadart. 243

II

Conférences.

Des droits individuels et collectifs sur les eaux courantes par M. Beaurin-Gressier. 277
De l'utilisation des eaux en Chine, par M. le général Tcheng-Ki-Tong . . 309
Historique des améliorations successives de la navigation de la Seine, par M. Caméré. 327

III

Procès-verbaux des séances.

Séance d'ouverture (générale). 363

SÉANCES DE LA 1re SECTION.

Première séance. 367
Deuxième séance. 371
Troisième séance. 375
Quatrième séance. 391
Cinquième séance. 403
Sixième séance. 410
Annexe au procès-verbal de la sixième séance. 421

SÉANCES DE LA 2e SECTION.

Première séance. 449
Deuxième séance. 455
Troisième séance. 472
Quatrième séance. 489
Cinquième séance. 496
Annexe au procès-verbal de la cinquième séance. 513
Sixième séance. 529

Deuxième séance générale. 545
Séance de clôture (générale). 549

Index alphabétique sommaire. 553

19071. — Imprimerie A. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

89090525924

B89090525924A